عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية في سورية



- البلّورة الإلكترونية المحيّرة
- هل النواقل الفائقة فائقة النقل حقاً؟
- انعكاسية أشعة X
- أضواء التيتانيا السحرية
- كيف تشكّل الهدروجين الأسود؟
- مضادات الآفات وسرطان الثدي

العدد الثالث والثلاثون السنة التاسعة أيلول ـ تشرين الأول 1994

33

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرية

Internal & External Publications of the AEC of SYRIA

السعر (ل. س من داخل القطر) بالقطع الأجنبي من خارج القطر Price	الشـكـــل	منشورات عامة (معدة للبيع)
15 ل . سٌ $ 3	كتيب مطبوع Printed Booklet	1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes in Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)
40 ل.س $ 9	كتيب مطبوع Printed Booklet	2 - مايجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع . What The General Practitioner (MD)Should Know About Medical Handing of overexposed Individuals . (ترجمة قسم الوقاية والأمان)
100 ل . س $ 15	معجم مطبوع Printed Dictionary	3 - معجم المصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية باللغات: العربية - الإنكليزية - الإفرنسية - الإسبانية - الروسية Atomic Energy Glossary of Technical Terms (ترجمة نخبة من المختصين بتكليف من الهيئة)
80 ل . س $ 7	كتاب مطبوع Printed Book	4 - مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food . (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)
160 ل . س $ 15	كتاب مطبوع Printed Book	5 - تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for preserving and improving the safety of food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)
100 ل . س $ 15	كتاب مطبوع Printed Book	6 - المثل العليا والواقع مقالات مختارة للأستاذ محمد عبد السلام Ideals and Realities, Selected. Essays of Abdus Salam (ترجمة الدكتور أدهم السمان والأستاذ أديب شيش)
250 ل . س $ 25	كتاب مطبوع Printed Book	7 - نظرية الكم وقصتها الغريبة l.etrange histoire des Quanta . (ترجمة محمد وائل الأتاسي)
160 ل.س $ 8	كتاب مطبوع Printed Book	8 - حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية . Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)

ملاحظة: يمكن طلب المنشورات المعدة للبيع من دائرة الاعلام والترجمة والنشر في هيئة الطاقة الذرية - دمشق - مزة - فيلات غربية شارع الغزاوي - رقم 10 هاتف 2249885 (وبالنسبة لكتاب المثل العليا والواقع يطلب من دار طلاس للطباعة والنشر) .

يوسف اللحوني



عالم الذرة

مجلة دورية تصدر ست مرّاتٍ في السنة عن هيئةِ الطاقةِ الذرّيةِ في الجمهوريةِ العربيةِ السوريةِ، وتهدف إلى الإسهام في نشرِ المعرفةِ العلميةِ باللغةِ العربيةِ، في الميدانين الذرّي والنووي، وفي كلّ مايتعلّق بهما من تطبيقات

العدد الثالث والثلاثون | السنة التاسعة | أيلول ـ تشرين الأول 1994

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1 ــ ترسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح، على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2 ــ يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3 ــ يُقدم المؤلف أو المترجم في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاح "Key Words" (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والأجنبية.

4 ــ إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة. ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية، إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5 ــ إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمّعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة ...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6 ــ إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، ترسل الصور الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلّا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة «4»)، مرقمة حسب أماكن ورودها.

7 ــ يرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية، الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18)، والذي ما زال في الإمكان شراؤه من دائرة الإعلام والترجمة ولنشر في الهيئة.

8 ــ تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختزلاً. وتستعمل في النص المؤلِّف أو المترجِم الأرقام العربية 1, 2, 3 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.

9 ــ يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالّة (★، +، ×، o ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10 ــ تُرقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11 ــ يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12 ــ تخضع مادة النشر للتقييم ولا تُرد إلى أصحابها نشرت أو لم تنشر.

13 ــ يحصل كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع على ثلاث نسخ من عدد مجلة (عالم الذرّة) الذي تنشر فيه المادة، كما يمنح مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

14 ــ توجه المراسلات باسم رئيس التحرير إلى العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة ــ دائرة الإعلام والترجمة والنشر ــ هيئة الطاقة الذرية ــ ص. ب (6091) دمشق ــ الجمهورية العربية السورية.

رسوم الاشتراك

الاشتراك السنوي للطلاب (120) ل. س ــ الاشتراك السنوي للأفراد (160) ل. س ــ الاشتراك السنوي للمؤسسات (400) ل. س.
الاشتراك السنوي للأفراد من خارج القطر العربي السوري (30) دولاراً أمريكياً. وللمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً

تتضمن الاشتراكات أجور البريد ــ يرسل رسم الاشتراك المناسب إلى العنوان التالي:

المشتركون من داخل القطر

دمشق ــ سبع بحرات ــ مصرف سورية المركزي

رقم الحساب 23/5110

المشتركون من خارج القطر

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13

مزة ــ جبل ــ ص. ب 16005

رقم الحساب 2/3012

سعر العدد الواحد

سورية 30 ل. س/لبنان 1000 ل. ل/الأردن 1,5 ديناراً/مصر 2,5 جنيهاً/الجزائر 50 ديناراً و 6 دولارات في البلدان الأخرى

ملاحظة: يمكن للمقيمين داخل القطر دفع قيمة الاشتراك مباشرة إلى دائرة الإعلام والترجمة والنشر في الهيئة مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

عالم الذرة

حسن يوسف اللحوش

في هذا العدد

المقالات (ترجمة أو تأليف المختصين العرب)

□ البلّورة الإلكترونية المحيّرة .... ك. ميلور 7
(ترجمة الدكتور إبراهيم خميس)

□ تقانات حديثة لتحسين الكفاءة التناسلية .... أ. ر. بيترز 14
في حيوانات المزرعة
(ترجمة الدكتور معتز زرقاوي)

□ هل النواقل الفائقة فائقة النقل حقاً؟........................ د. ا. هيوز ـ م. ب. ا. فيشر ـ د. س. فيشر 26
(ترجمة الدكتور عادل حرفوش)

□ انعكاسية أشعة X........................ ج. ج. بيناتار 40
(ترجمة الدكتور موسى الإبراهيم)

□ كارثة تشرنوبيل : حصيلة غير متوقعة .... ج. ك. نيو ـ ر. كولون 53
(ترجمة الدكتور محمد عثمان)

أخبار متفرقة (من إعداد لجنة التحرير والمختصين العرب)

1- وأخيراً وجدوه!........................ 69

2- تصدر مركبات الفلّرين المحصورة ضوءاً أبيضَ عند إثارتها بالليزر........................ 73

3- بروتينات مقاومة للحرارة........................ 74

4- مشروع JET على شفير الهاوية........................ 75

5- الأمل بنجاح الاندماج النووي منوط بأداء مفاعل JET المجدّد........................ 77

6- أضواء التيتانيا السحرية........................ 79

7- كيف تشكّلَ الهدروجين الأسود؟........................ 80

8- لماذا تحتاج الأغنام المصابة بسقط ذري إلى شراب فوار غير مسكر؟........................ 80

9- مضادات الآفات وسرطان الثدي........................ 82

10- جرع منخفضة تساعد جمل التصحيح في الخلايا البشرية........................ 83

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

□ استقرار الباي بولارون في الترانس بولي استيلين بوساطة........................ الدكتور محمد خير صبرة........................ 87
الاقتران بين السلاسل
ج. أ. بلاك مان

□ طريقة مبسطة للتقدير العاجل لأعمار النصف للنكليدات المشعة........................ الدكتور توفيق ياسين........................ 91
قصيرة العمر
الدكتور إبراهيم عثمان

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ تطوير طريقة التحليل الحجمي لتحديد اليورانيوم في حمض........... الدكتور يحيى قدسي - حبيب شليويط.........97
الفسفور السوري وفي المذيب DEHPA/TOPO المشحونين باليورانيوم

☐ مستقبلات عوامل النمو كمستهدفات للمعالجة بالأضداد................الدكتور محمد عادل باكير..................100
ج. دين - ج. ستايلس -
م. فاليري - هـ. موجتهيدي -
ج. بابيتش - س. اكلز

كتب حديثة مختارة (عرض وتحليل)

1- ماديات وأساسيات التنضيد بالحزمة الجزيئية.....................(تأليف: ج. ي. تاسو) 109
(عرض وتحليل: ج. ب. هاريبسون)

2- تبادل الشحنة ونظرية تصادمات أيون - ذرة.........................(تأليف ب. هـ. برزدن - م. ر. ك. ماكدويل)....110
(عرض وتحليل: إ. ج. مانسكي)

تذكرة بمحتويات العددين الأخيرين (الحادي والثلاثين والثاني والثلاثين)..............................112

ملخصات باللغة الانكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد..120

محسن أبو يوسف الكويتي

المقالات

البلّورة الإلكترونية المحيّرة*

ك . ميلور
باحث مساعد في قسم الفيزياء في جامعة نوتينغهام ـ المملكة المتحدة

ملخص

مرّ أكثر من 50 سنة على اقتراحٍ بامكانية تجميد الإلكترونات لتصبح صلبة ، ويجد الفيزيائيون الآن أول دليل على أن ذلك يحدث حقاً .

تتحرك الإلكترونات في المادة الناقلة ، كالمعادن ، بحرية إلى حد جعل الفيزيائيين يفكرون بشكل مألوف على أنها كالغاز . ومنذ أكثر من نصف قرن مضى ، فكروا ملياً فيما سوف يحدث لو نقصت كثافة هذه الإلكترونات . كيف ستتصرف إذاً ؟ وكيف ستتفاعل ؟ في عام 1934 ، اقترح فيغنر Wigner ، وهو فيزيائي من جامعة برينستون ، أنه يمكن تجميد الإلكترونات ، تحت شروط معينة لتصبح صلبة .

انطلقت هذه الفكرة الغريبة كحالة حدية لنموذج نظري يفسر آلية تحرك الإلكترونات في المعادن . وبعد عشرات السنين ، تحولت إلى بحث عن بلورة إلكترونية حقيقية عبر حقول الميكانيك الكمومي . والآن ، يعتقد الفيزيائيون أنهم وجدوا بلورة فيغنر الكمومية ، بل وأنهم توصلوا إلى اكتشافات مثيرة أخرى أثناء ذلك .

ولفهمِ مايعني به فيغنر بالبلورات الإلكترونية ، نحتاج أولاً أن ننظر إلى كيفية سلوك الإلكترونات في المادة الناقلة . هناك في أي ناقل توجد الكترونات حرة ؛ يعتمد عددها الدقيق ، في حجم معطى ، على نوع المادة وعلى درجة حرارتها .

إذا مررت تياراً عبرٍ ناقل ـ عندما تشعل مصباحاً كهربائياً مثلاً ـ فإن الإلكترونات تنجرف باتجاه القطب الموجب للمدخرة وتُستَبْدَل بإلكترونات من القطب السالب . ولدى مرور هذه الإلكترونات في الدارة تتصادم وتخسر طاقة وبالتالي تسخّن المصباح . وبالرغم من أن الإلكترونات المنفردة تتحرك بسرعة كبيرة جداً في كافة الاتجاهات ، إلاَ أن السرعة الصافية (الحاصلة) لها ـ أي سرعة انجرافها ـ تكون مساوية فقط بضع سنتيمترات في الثانية . وإذا أوقف التيار ، يكون متوسط حركة الإلكترونات مساوياً الصفر .

هناك تأثيران متنافسان على هذه الإلكترونات: التدافع الكهراكدي فيما بينها وطاقتها الحركية . فالإلكترونات تدفع بعضها بعضاً لإمتلاكها نفس الشحنة الكهربائية . وهذا بدوره يحافظ على بقائها منفصلة بعضها عن بعض وضمن ترتيب منتظم إلى حد ما ، وإذا ماتحرك واحد منها ، فإن الإلكترونات المحيطة به تتأثر بذلك بشكل قوي ـ وهذا مايعرف بخاصة (الارتباط) التعالق correlation .

وفي المادة الناقلة يسود التأثير الثاني ـ أي الطاقة الحركية . ففي المعدن تكون كثافة الإلكترونات عالية ، وعلى الرغمِ من أن الإلكترونات يمكنها أن تنتقل في المعدن ، إلاَ أن حيزاً صغيراً فقط يتوفر لكل واحد منها . ويُعلمنا الميكانيك الكمومي أن على الجسيم المحصور في فراغ صغير أن يمتلك طاقة حركية أعلى منها فيما لو شغل فراغاً أكبر . وهذه نتيجة لمبدأ الإرتياب uncertainty principle لهايزنبرغ ، الذي يقول أنه كلما ازداد اليقين في تعيين موقع الإلكترون ازداد عدم اليقين (الإرتياب) في اندفاعه . ويؤدي الإرتياب في الاندفاع إلى طاقة حركية كبيرة (وهذا يُفسر لماذا تكون الطاقات المتعلقة بالفيزياء الذرية أقلَ بكثير منها في الفيزياء النووية: فالذرة أكبر بكثير من النواة) .

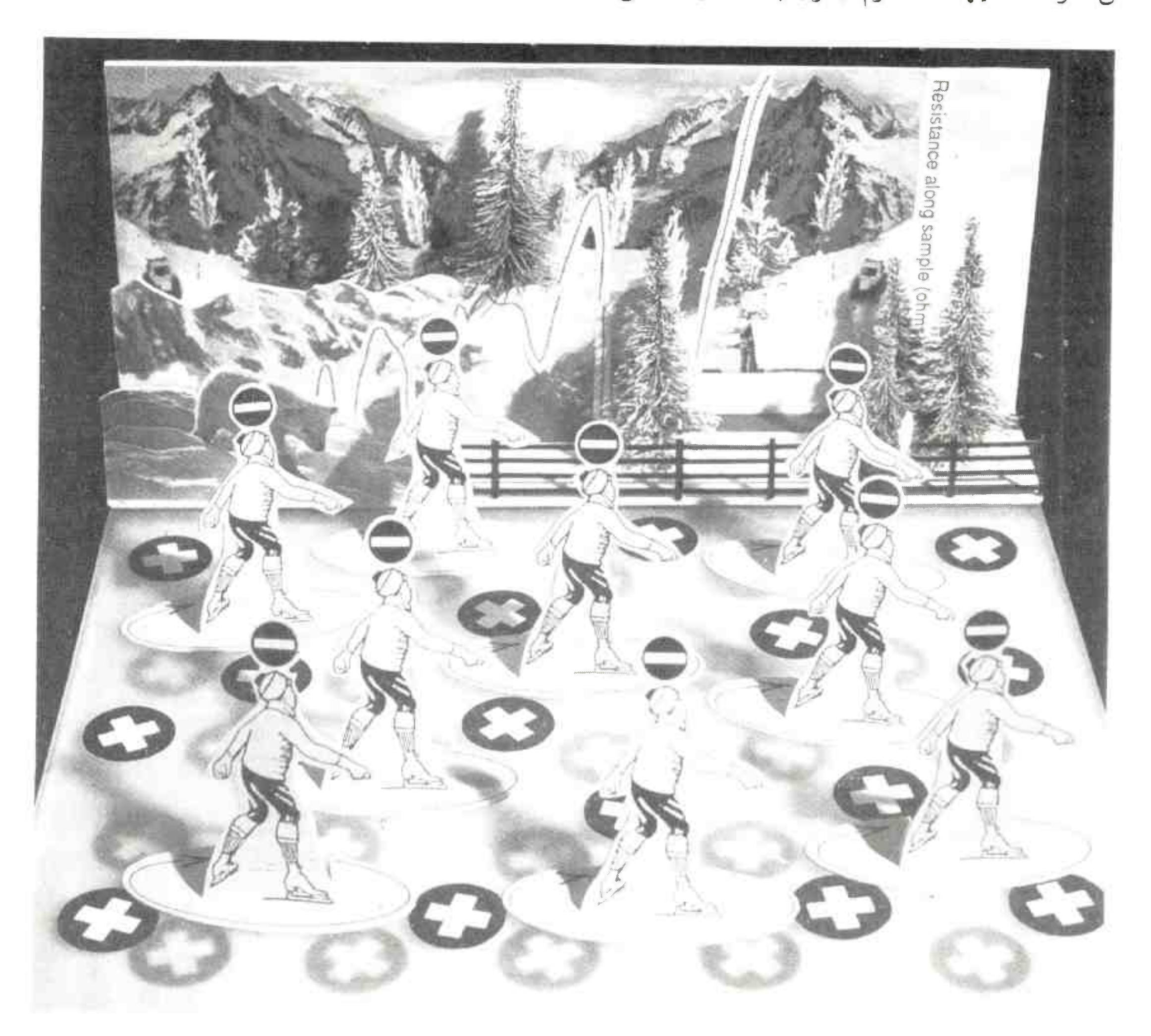
* هذا المقال منشور في مجلة New Scientist, 8 August, 1992 . ترجمه الدكتور ابراهيم خميس ـ قسم الخدمات العلمية ـ هيئة الطاقة الذرية السورية ـ وراجعه الدكتور توفيق قسّام ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية في هيئة الطاقة الذرّية السورية .

نموذج بلورة فيغنر

تمتلك الإلكترونات، مثل كافة الجسيمات، طاقة حركية حرارية - وكلما كانت درجة الحرارة أعلى، كانت الطاقة الحركية التي تمتلكها الإلكترونات أكبر. ففي معدن عند درجة حرارة الغرفة، يكون التأثير المشترك للطاقات الحركية الكمومية والحرارية أكبر من تأثير التنافر الكهراكدي ولهذا تُعد الإلكترونات غازاً.

لقد اقترح فيغنر أنه لو انخفضت الكثافة الإلكترونية، فسيمكن لكل إلكترون أن يشغل حجماً أكبر. وبالتالي ستكون الطاقات الحركية للإلكترونات أخفض، ولذا فإنها ستقوم بترتيب أنفسها على مسافات متساوية من بعضها - وبكلمات أخرى ستتعالق الإلكترونات نتيجة لتنافرها الكهراكدي مشكلة بلورة. وهذا كان النموذج: لقد افترض فيغنر أن الإلكترونات تتحرك نحو خلفية من شحنة موجبة منتظمة، في حين تشكلَ النوى المشحونة إيجاباً خلفية غير منتظمة حيث تتركز الشحنة الموجبة على كل ذرة.

وقد جرى حساب خواص مثل بلورة فيغنر هذه من قبل فيزيائيين نظريين خلال الستينيات. وبقي الأمر على هذا الحال حتى عام 1971 حيث اقترح أمريكيان أنه يمكن حقاً ملاحظة هذه البلورة. وكان يُظنَ أن البلورة ستكون ثنائية الأبعاد أكثر منها



ثنائية، لأن في الأبعاد الثلاثة لايوجد سبيل لفصل الشحنات الموجبة والشحنات السالبة. وهكذا تشكّل الشحنة الموجبة خلفية منتظمة. واقترح الباحثان أن يكون بإمكان الإلكترونات الموجودة فوق سطح الهليوم السائل تأمين الشروط الصحيحة اللازمة لملاحظة البلورة الإلكترونية.

وفي عـــام 1979، نجح ش. غرايمـــز Ch. Grimes و غ. آدامز G. Adams في مخابر شركة بل AT&T Bell في أسر صفيحة ثنائية الأبعاد من الإلكترونات فوق سطح الهليوم السائل. إن هذه الجملة سهلة التحليل نظرياً. كانت كثافة الإلكترونات في هذه الطبقة منخفضة جداً: حوالي $4x10^{12}$ إلكتروناً في المتر المربع (مقارنة بحوالي 10^{15} إلكترون في المتر المربع لصفيحة من المعدن لها السماكة ذاتها). وفي مثل هذه الكثافة الإلكترونية المنخفضة: لاتكون الآثار الكمومية هامة: فالإلكترونات لاتكون محصورة في حيز معتبر، وبالتالي فإن حركتها تتحدد بالميكانيك النيوتوني التقليدي. وفي جملة تقليدية كهذه يكون الأثران المتنافسان هما الأثر التعالقي للتنافر بين الإلكترونات وأثر حركتها الحرارية. وقد بيّن غرايمز وأدامز أنه إذا تم تبريد الجملة إلى درجة حرارة أخفض من درجة حرجة تُشكّل الإلكترونات حينئذ شبكة من مثلثات متساوية الأضلاع تتوضع فيها الإلكترونات في زوايا هذه المثلثات.

من التقليدي إلى الكمومي

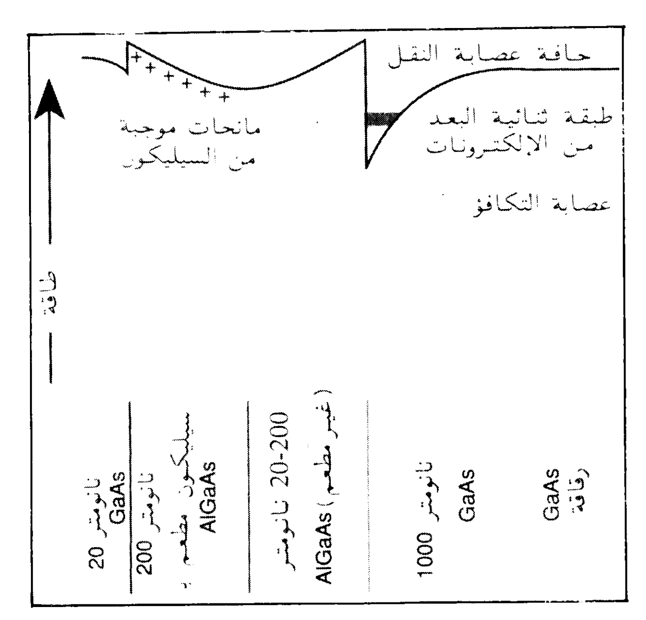
منذ ذلك الحين، نُفِذ عدد من التقصيات على الجملة التقليدية توصل الباحثون من خلالها إلى فهم جيد لكيفية ذوبان مثل هذه الجمل وتحولها من ترتيب منتظم كما هو الحال في الجسم الصلب إلى حالة مائعة عشوائية كالغاز. وفي عام 1989 أجريت تجارب في جامعة برمنغهام مع ج. ڤينين J.Vinen وشكلا فيها بلورات من أيونات الهليوم التي جرى أسرها في طبقة تحت سطح الهليوم السائل، وكانت عبارة عن جملة مشحونة تقليدية ذات بعدين. وفي تجارب أخرى وعلى نطاق أوسع، شكّل ش. موريَ Ch. Murray ومساعدوه في مخابر شركة بل في عام 1987 «بلورات»، عند درجة حرارة الغرفة، من كرات من البوليسترين المشحونة والتي تمّ أسرها في الماء بين صفيحتين من الزجاج. وهذه الجملة ذات فائدة خاصة لأنها تسمح للفيزيائيين بمتابعة حركة الكرات المنفردة وهذا شيء يستحيل فعله مع الإلكترونات.

لكن كلّ هذه الجمل لم تكن تلك البلورة الإلكترونية التي في عقل فيغنر: إذ لايزال الفيزيائيون يبحثون عن جملة يمكنهم من خلالها دراسة ذوبان الجملة الكمومية ذات الجسيمات المشحونة. وقد أدى بهم هذا البحث إلى مواد نصف ناقلة ذات كثافة إلكترونية أخفض مما هي عليه في المعادن. ويتوجب عند تبريد نصف الناقل أن تنخفض الكثافة الإلكترونية أكثر فأكثر ـ وبذلك تنقص الطاقة الحركية الكمومية ـ وأن تنخفض الحركة الحرارية. ولكن، هل يمكن تبريد نصف الناقل إلى الحدّ الذي تتشكّل عنده بلورة فيغنر؟

في الثمانينيات، طُوّرت تقنية تدعى التنضيد بالحزمة الجزيئية Molecular Beam Epitaxy (MBE) التي تترسب فيها مواد نصف ناقلة (كزرنيخيد الغاليوم) في طبقات تبلغ سماكة الواحدة منها سماكة الذرة. وبهذه الطريقة نُمّيت المواد نصف الناقلة الجديدة ذات النقاوة العالية. من هذه الأخيرة كانت الوصلة غير المتجانسة heterojunction ـ وهي طبقة حدية بين نصفي ناقلين مختلفين مثل زرنيخيد الغاليوم (GaAs) وزرنيخيد الغاليوم الألمنيوم (AlGaAs)، مع وجود صفيحة من الإلكترونات المأسورة بينهما في بئر طاقة كامنة عند الطبقة الحدية. وقد فُصلت هذه الإلكترونات عن الشوائب المشحونة إيجابياً في نصف الناقل (إذ لايعمل نصف الناقل دون وجود مثل هذه الشوائب التي تكون على شكل طعوم dopants كذرات السيليكون مثلاً). وبذلك تستطيع الإلكترونات أن تتحرك في المستوي الذي أسرت فيه فقط (انظر الشكل 1). ولإنقاص الحركة الحرارية للإلكترونات، يجب تبريد هذه العينات إلى درجة من الحرارة تكون أقلّ من 1 كيلفن.

اكتشاف يستحق الجائزة

أدى العمل على أنصاف النواقل عند درجات حرارة منخفضة إلى بعض الاكتشافات الرائعـــة. ففي عـــام 1980، اكتشف كلاوس فـــون كليتزينغ Klaus Von Klitzing، الذي عمل آنذاك في مخبر الحقل المغنطيسي العالي والعائد لمخبر ماكس



الشكل 1- يمكن أسر الإلكترونات على شكل صفيحة ثنائية الأبعاد بين طبقتين من مادتين نصف ناقلتين تتقابلان في الوصلة غير المتجانسة. وتكون الإلكترونات في بئر طاقة كامنة ومنفصلة عن الشحنات الموجبة. هل ينتج تبريد هذه الجملة بلورة فيغنر الكمومية؟.

بلانك في غرونوبل، أثر (مفعول) هول الكمومي الصحيح Integer Quantum Hall Effect (IQHE)، والذي نال من أجله جائزة نوبل للفيزياء في عام 1985. يحدث هذا الأثر، على سبيل المثال، عندما تُبرَّد وصلة غير متجانسة إلى درجة حرارة أقلَّ من 4 كيلفن ثم يُطبَّق حقل مغنطيسي بصورة عمودية على صفيحة الإلكترونات. وعلى أثر تحسّن المواد، اكتشف عام 1982 أثر هول الكمومي الكسري Fractional Quantum Hall Effect (FQHE) [انظر المؤطر].

ومنذ ثلاث سنين مضت، رأى الفيزيائيون، الذين يدرسون أثر هول الكمومي الكسري باستخدام عينات ذات نوعية أجود، آثاراً غريبة عند الحقول المغنطيسية العالية. إذ تبين لدى تطبيق حقل مغنطيسي عمودي على صفيحة الإلكترونات أن حركة هذه الأخيرة تتبدل. ووفقاً للميكانيك التقليدي فإن الإلكترونات الموجودة في حقول مغنطيسية تتحرك على مدارات دائرية. بينما من وجهة نظر الميكانيك الكمومي يمكن القول أن هذه الإلكترونات تتموضع في منطقة تساوي تقريباً حجم المدار الدائري.

المدارات المنكمشة shrinking orbits

تتراكب (تتداخل) هذه المدارات تحت تأثير الحقول المغنطيسية المنخفضة. وبازدياد شدة الحقل يزداد انكماش المدارات إلى أن تصل إلى حدٍ لاتستطيع عنده الإلكترونات أن تتراكب فتبقى حبيسة (أسيرة) في مدارها الخاص. ويعتبر مركز هذا المدار بمثابة موضع للإلكترون حيث يتحرك تحت تأثير الحقل الكهربائي. ولذلك فإن زيادة أسر الإلكترونات بالحقل المغنطيسي يجب أن تُيسّر تشكل بلورة فيغنر.

ويتنبأ النظريون بوجوب تشكّل بلورة فيغنر عند قيمة معيّنة لـ «عامل الملء» filling factor، وهو كمية تتناسب مع نسبة المساحة المشغولة فعلاً من قبل الإلكترون إلى المساحة المتاحة له. والتي بدورها تعتمد على الكثافة. وعندما يكون عامل الملء مساوياً 1/5 أو أقلّ يجب أن تتشكل الحالة الصلبة. وقد أجرى ب. ماكسيم P. Maksym من جامعة لِيسسْتر leicester بعض الحسابات التي تظهر كيفية تحوّل البلورة الإلكترونية من سائل إلى صلب عند تحول عامل الملء ν من 1/3 إلى 1/9 (انظر الشكل 2).

في عام 1988 لاحظ ر. ويلليت R. Willett من معهد التقانة في ماساشوستش وزملاؤه من مخابر بل وجامعة برينستون أنه بمجرَّد أن يزيد عامل الملء على قيمة 1/5 (والذي يقابل حقلاً مغنطيسياً شدته 20 تِسلا ومن أجل كثافة إلكترونية تساوي 10^{15} بالمتر المربع) فإن مقاومة الصفيحة الإلكترونية تزداد بشكلٍ حاد كلما بُرِّدت العينة: وتبدأ العينة لتصبح عازلاً أكثر منها ناقلاً. هل كان هذا في النهاية دليلاً على بلورة فيغنر؟ ليس هناك سبب خاص كي تصبح بلورة فيغنر عازلاً؛ إذ يمكن بنفس السهولة أن تكون ناقلاً لو أن كامل البلورة انجرفت نحو الطرف الموجب عند تطبيق التوتر، تماماً كما تفعل الإلكترونات المنفردة في المصباح الكهربائي. هناك تفسير ممكن آخر لهذا السلوك في العازلية: إذ يمكن للإلكترونات المنحشرة في حيز ضيق بفعل حقل مغنطيسي أن تأسرها العيوب والشوائب القريبة من الحوف الحدية. ويطلق

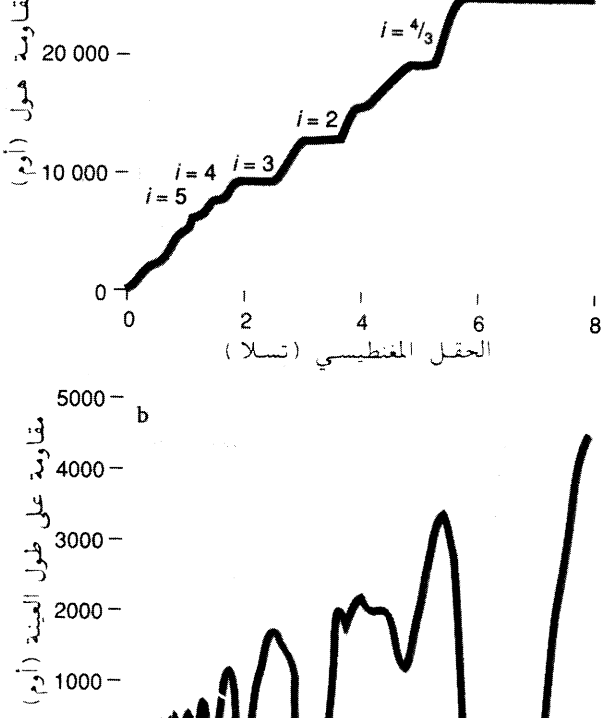
آثار هول الكمومية: السلوك الغريب للإلكترونات في الحقول المغنطيسية

عندما يمرّ تيار في ناقل، فإنه لايولّد غالباً فرق كمون بين طرفيه (انظر الشكل في الأسفل). ولكن عندما يُطبّق حقل مغنطيسي بزاوية قائمة على التيار، يتولد توتر بزوايا قائمة بالنسبة لاتجاهي التيار والحقل. ويكون حجمه متناسباً طرداً مع الحقل المغنطيسي. وهذا مايعرف بأثر هول التقليدي. وقد استُعمل لسنين عدة في التقصّي عن خواص المعادن وأنصاف النواقل كمعرفة، على سبيل المثال، لماذا تكون مادة ما ناقلاً جيداً أو رديئاً.

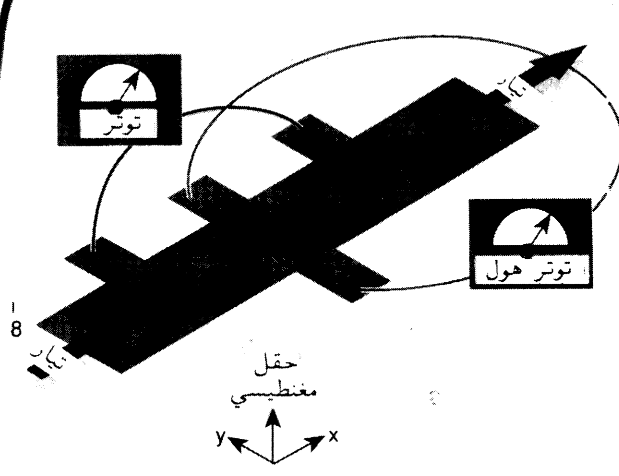
يمكن من معرفة توتر هول استخراج كمية تدعى مقاومة هول (وهي حاصل قسمة توتر هول على التيار المطبقّ)، والتي تتناسب طرداً مع الحقل المغنطيسي وعكساً مع الكثافة الإلكترونية. وفي عام 1980، لاحظ كلاوس فون كليتزينغ من مخبر الحقل المغنطيسي العالي في معهد ماكس بلانك في غرونوبل وزملاؤه أن مقاومة هول في نبيطة نصف ناقلة تدعى MOSFET سيليكوني قد بقيت ثابتة فوق مجالات معيّنة من الكثافة وذلك لدى انقاصه للكثافة الإلكترونية.

وقد أعطيت قيم مقاومة هول، التي تحدث عندها العتبات بدقة لدى تقسيم مجموعة مترابطة من الثوابت الأساسية (h/e^2) على عدد صحيح. وبنفس الوقت لوحظ أن المقاومة الحقيقية على طول العينة تؤول إلى الصفر. يدعى هذا الفعل بأثر هول الكمومي الصحيح IQHE (انظر الشكل المقابل). حيث تبلغ قيمة مقاومة هول عند العتبات مقدار 25812.80 أوم مقسوماً على عدد صحيح. وهذا مايجعل من دقتها ميزة جذابة لأن تكون المعيار العالمي للمقاومة في المستقبل.

في عام 1982، اكتشف د. تسوي D. Tsui



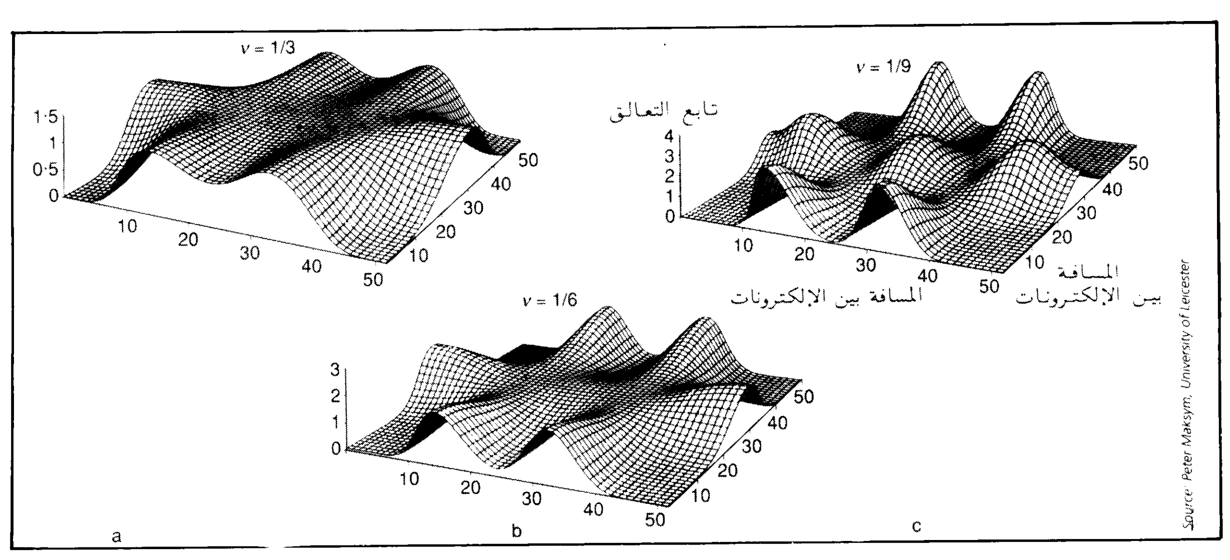
(a) في الحقول المغنطيسية، مقاومة هول لسويات صفيحة إلكترونية ثنائية الأبعاد عند قيم خاصة، (i) لعامل الملء ν.(b) في نفس الوقت، تهبط المقاومة الحقيقية لعينة نصف الناقل إلى الصفر.



قياس أثر هول

من جامعة برينستون وزملاؤه في أمريكا أثراً مشابهاً في وصلات (AlGaAs/GaAs) غير المتجانسة ذات الجودة العالية. وقد لاحظوا، من أجل هذه المادة، عتبات أخرى، بالاضافة إلى عتبات IQHE. ويمكن حساب قيم هذه العتبات الاضافية عن طريق تقسيم (h/e^2) على كسر مُنْطَق ذي مخرج فردي مثل (5/3،1/3.. الخ).

ونعرف الآن أن هذا الأثر أي أثر هول الكمومي الكسري FQHE، وهو نتيجة للحالة الكمومية الخاصة التي تشكلها الالكترونات. وتدعى هذه الحالة بسائل FQHE بسبب التأثيرات المتبادلة القوية بين الالكترونات، وهي تشابه التأثيرات المتبادلة للذرات في السوائل.



الشكل 2- يمكن حساب احتمالية وجود الالكترون في موضع معين بالنسبة لالكترون آخر في جملة مؤلفة من ستة إلكترونات. ومن هذه الدراسة، يستطيع النظريون التنبؤ بالحالة الفيزيائية للالكترونات. إن الانتقال من سطح لايتمتع بصفات مميزة (a) إلى سطح ذي قيم واضحة (c) عندما يتناقص عامل الملء v، يقابل التحول من سائل إلكتروني إلى بلورة إلكترونية.

على هذا الفعل إسم التموضع المغنطيسي magnetic localisation وهو معروف جيداً إذ يعتمد الحقل، الذي يحدث عنده هذا الفعل، على درجة كمال العينة.

ويمكن أسر الالكترون في بلورة فيغنر بالطريقة ذاتها، حيث تُحجز كامل البلورة موضعياً، وبذلك يمكن لنصف الناقل أن يصبح عازلاً. تدعى هذه الظاهرة بالتثبيت pinning. وهي تحدث بكثرة حتى في أفضل العينات جودة.

لنفترض الآن أن توتراً أعلى طُبق على العينة: وبالتالي فإن هناك حافزاً أكبر للالكترونات كي تتحرك إلى الطرف الموجب. وإذا كان التوتر عال بشكل كاف، كان بمقدورنا التخيل أن البلورة الالكترونية ستتشوه، وفي النهاية ستتحرر من مراكز التثبيت وأن تنقل الكهرباء. وإذا تمَ ذلك، فينبغي إيجاد عتبة للتوتر تكون تحتها العينة عازلة وفوقها ناقلة. وبالطبع يجب أن يكون هناك ضجيج كهربائي - أي تذبذبات في التوتر - يتولد عند خشخشة البلورة عبر مراكز التثبيت.

ليست تامة كلياً

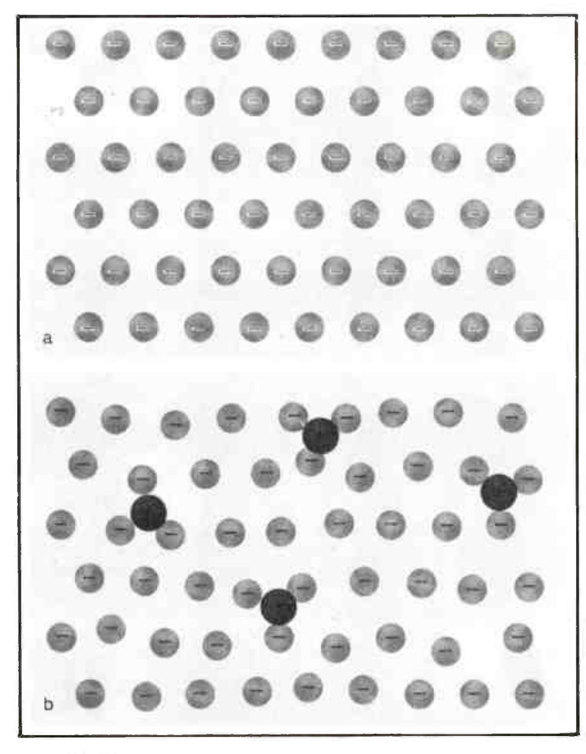
في عام 1989، لاحظ ف. غولدمان V. Goldman من جامعة نيويورك الوطنية في ستوني بروركStony Brook وزملاؤه في جامعة برينستون ومخابر بل في نيوجرسي ماذكر تماماً، على عينة من AlGaAs/GaAs تمَ تبريدها إلى درجة 0.05 كيلفن. وقريباً، وجد ت. ويليامز T.Williams في مركز الدراسات النووية في ساكلي بفرنسا وزملاؤه من

فرنسا وبريطانيا واستراليا النتائج نفسها. وفي كلتا التجربتين، وُجِدَ أن الصلب ينصهر إلى سائل الـ FQHE عند عامل ملء يساوي 1/5؛ وتمت رؤية الصلب على أي من جانبي عامل الملء هذا. وبذلك توفر أخيراً دليل على بلورة فيغنر الكمومية.

في البلورة المثالية ثنائية الأبعاد، يجب أن تكون الشبكة مثلثية. وعند كثافة تبلغ 10^{15} في المتر المربع يكون التباعد بين الإلكترونات مساوياً 18 نانومتراً مقارنة بمسافة 0.28 نانومتراً لذرات نصف الناقل المضيف. أما إذا اختلَّ ترتيب الإلكترونات، فإن هذه الشبكة تختلَّ أيضاً. وكلما قلَّ الاختلال في العيّنة، كلما ازدادت المسافة التي من خلالها تتشابه البلورة مع البلورة التامة. ويمكن تحديد هذه المسافة باستعمال قيمة توتر العتبة. فقد وجد ويليامز أنها قصيرة ـ إذ تبلغ حوالي 10 تباعدات إلكترونية في الشبكة ـ وهي تماثل الرتبة العددية التي توجد في الزجاج. وهكذا يبدو وكأن بلورة فيغنر الإلكترونية قد أصبحت «زجاج فيغنر» (انظر الشكل 3).

وعلى كل حال، فقد أجرى عدّة باحثين، خلال العام المنصرم، تجارب في بنى أخرى لأنصاف النواقل وكما يبدو فقد أظهرت أن الإلكترونات تتبلور فيها. ولقد أظهر فريق من الباحثين الروس والكنديين والألمان أن في احدى هذه البنى، وبالتحديد في بنية MOSFET السيليكوني، تتبلور صفيحة الإلكترونات حتى دون مساعدة الحقل المغنطيسي في أسر إلكتروناتها، ولربما تلك هي بلورة فيغنر الحقيقية ذات البعدين.

ولاتزال دراسات تبلورات فيغنر في الوصلات غير المتجانسة وفي جمل أخرى من أنصاف النواقل في أيامها المبكّرة كما يبقى هناك الكثير من الواجب تحديده، مثل الطريقة التي يجب استعمالها لمعرفة المزيد عن الطبقة الصلبة من الإلكترونات في نصف الناقل، وماذا يحدث لدى انصهارها. وإذا كانت الخبرة السابقة شيئاً يهتدى به، فإن الأجوبة ستكون غير متوقعة مثلما هي ممتعة.



الشكل 3- في بلورة فيغنر الكمومية المثالية ينبغي أن تُرتب الإلكترونات ذاتها في نموذج منتظم عند زوايا المثلثات متساوية الأضلاع (a). في الحقيقة، يوجد هذا الانتظام عبر مسافات قصيرة فقط، وهذا مايشابه الطريقة التي تنتظم فيها الذرات في الزجاج (b).

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرة مجلة *New Scientist* للسماح لها بترجمة هذا المقال ونشره.

الكلمات المفتاح | **Key Words**

الكلمات المفتاح	Key Words
البلورة الإلكترونية	1 -electron crystal
آثار هول	2 -Hall effects
بلورة فيغنر	3 -Wigner crystal
أنصاف النواقل	4 - semiconductors
وصلات لامتجانسة	5 - heterojunctions

تقانات حديثة لتحسين الكفاءة التناسلية في حيوانات المزرعة ★

أ. ر. بيترز
شركة هوكْست المحدودة في المملكة المتحدة - والتون - ميلتون كينيس - المملكة المتحدة

ملخص

جرى، خلال العقدين الأخيرين، تطوير تقانات التحليل المناعي الإشعاعي (RIA) بهدف قياس هرمونات التناسل. وقد ساهم هذا التطوير إلى حدّ كبير في فهم الوظائف التناسلية ووضع برامج حقلية لتحسين الخصوبة في الحيوانات الزراعية. فعلى سبيل المثال، استخدم وعلى نطاق واسع قياس تركيز هرمون البروجسترون في حليب أو دم الأبقار من أجل مراقبة الوظيفة المبيضيَّة وكوسيلةٍ لتحديد معايير الخصوبة (كتشخيص الحمل مثلاً). كذلك كان لتقانات التحليل المناعي الإشعاعي تطبيقاتٌ رئيسة عند إجراء دراساتٍ تفصيلية للآليات الحيوية والفيزيولوجية المسيطرة على العمليات التناسلية. وهكذا أصبح الأساس لفهم الآلية المسيطرة على الوظيفة المبيضيَّة هو استخدام التحليل المناعي الإشعاعي لتقدير التراكيز الخاصة بالهرمونين المنشطين للغدد الجنسية LH وFSH، وكذلك الخاصة بكلٍّ من هرمونات: الاستراديول-17 β، والبرجسترون، والبروستاغلاندين، والإنهيبين (المكتشف حديثاً). ولازالت الظواهر أو المشاكل التالية - وهي: غياب الشياع المبيضي والسلوكي، وإخفاق الإخصاب، وإنتاج مواليد بحجمٍ غير مثالي - هي أهمُّ العوائق الحيوية والإدارية للوصول إلى خصوبةٍ مثلى في حيوانات المزرعة. وسوف تستعرض هذه الورقة وبشكل مقتضب الخلفية الوظيفية للظواهر أو المشاكل الآنف ذكرها إضافةً إلى استعراض التقانات التي يجري تطويرها بهدف تخفيف الآثار الناجمة عن هذه المشاكل.

1- مقدمة

يُعدّ الأداء التناسلي عند حيوانات المزرعة، وبخاصة عند المجترات، سيئاً حتى في أكثر الدول تطوراً. ففي المملكة المتحدة مثلاً، قدِّر معدل الولادة للأبقار الحلوب من التلقيح الاصطناعي الأول فبلغ 55- 60 % فقط. كذلك، تصل قطعان قليلة من الماشية إلى الهدف المنشود، ألا وهو الحصول على مولود واحد للبقرة في العام الواحد. أما في البلدان النامية، فتزداد مثل هذه المشاكل تعقيداً بسبب الظروف المناخية غير الملائمة، كما هو الحال عند ارتفاع حرارة الجو [1]، وظروف التغذية التي غالباً ماتكون شحيحة. ومن المحتمل أيضاً حدوث تأثيرات سيئة على الأداء التناسلي للحيوانات عندما تستخدم لأغراض النقل وحمل البضائع [2,3]. كما لايعرف، في تلك البلدان النامية، إلا القليل عن فزيولوجية بعض الأنواع الحيوانية السائدة فيها مثل ماشية النوع Bos indicus والجاموس بالمقارنة مع ماشية النوع Bos Taurus [4]. يترتب على مثل هذا الأداء التناسلي السيء تبعات اقتصادية هامة، حيث قُدِّرت - في المملكة المتحدة - تكلفة الفترة المطولة مابين الولادتين بحوالي ثلاث جنيهات استرلينية للبقرة في اليوم الواحد، وهذا يمثل بحد ذاته خسارة لايستهان بها.

وقد طورت، خلال العقدين الأخيرين، تقانات التحليل المناعي الإشعاعي (RIA) من أجل قياس

★ هذا المقال منشور في مجلة IAEA-SM- 318/16,1991. ترجمه الدكتور معتز زرقاوي - قسم الزراعة الإشعاعية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - وراجعه الدكتور محمد فؤاد الرباط - كلية الزراعة - جامعة دمشق - دمشق.

هرمونات التناسل مما ساهم كثيراً في فهم الوظيفة التناسلية وفي وضع برامج حقلية لتحسين خصوبة الحيوانات الزراعية. وكمثال على ذلك، يستخدم على نطاق واسع تقدير تركيز هرمون البروجسترون في حليب ودم الأبقار كوسيلة لمراقبة الوظيفة المبيضية وتقدير معايير الخصوبة (كتشخيص الحمل مثلاً). وقد استنبط القسم المختص باستخدام التقانات النووية في الغذاء والزراعة - والذي يعمل بالمشاركة مابين الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة الدولية (FAO/IAEA) - «علبة kit» أو مجموعة تحليل جاهزة خاصة بتطبيق تقانة التحليل المناعي الإشعاعي RIA سهلة الاستعمال وموثوقة. وتُنتج، في الوقت الحالي، مخابر الوكالة الدولية للطاقة الذرية الكائنة في سيبرزدورف بالنمسا حوالي 3000 من هذه المجموعات الجاهزة سنوياً تقوم بتوزيعها على 400 باحث من البلدان النامية [5]. وتساعد مثل هذه البرامج وبشكل كبير على تنفيذ برامج تقدير خصوبة الحيوان في البلدان النامية كما توفر إمكانية التحري الدقيق عن مسببات عدم الخصوبة ودراستها بشكل مفصّل.

وكان أيضاً لتقانات التحليل المناعي الإشعاعي دور أساسي عند القيام بدراسات تفصيلية للآليات الحيوية والفزيولوجية المنظمة لعمليات التناسل. فعلى سبيل المثال، استخدمت تقانة التحليل المناعي الإشعاعي لتقدير تراكيز الهرمونين المنشطين للغدد الجنسية(LHوFSH)، ولتقدير تراكيز كل من: هرمونات الاستراديول17β، والبروجسترون، والبروستاغلاندينات، وهرمون الإنهيبين (المكتشف حديثاً)، تلك القياسات التي شكلت بدورها الأساس لضبط وفهم الوظيفة المبيضية.

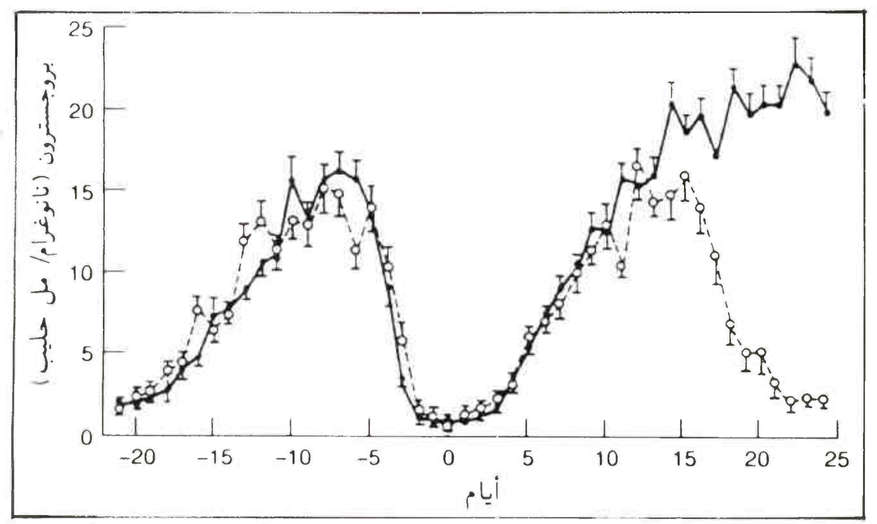
وتناقش الورقة الحالية تطبيق تقانة التحليل المناعي الإشعاعي (RIA) لقياس الهرمونات الخاصة بعملية التناسل، كما تناقش الاكتشافات الحديثة في مجال تحوير وتحسين خصوبة الحيوان.

2- استخدام تراكيز هرمون البروجسترون لمراقبة الوضع التناسلي

يُعدّ مستوى هرمون البروجسترون في مصورة الدم مؤشراً دقيقاً للوظيفة المبيضية لأنه يعكس مباشرة وظيفة الجسم الأصفر corpus luteum، ولذلك استخدم هذا المؤشر كوسيلة لتحري حدوث الحمل، ودورات الشياع oestrus cycles، وفترة السكون التناسلي أو غياب الشياع anoestrus. وقد ثبت، في عدة أنواع حيوانية، امتصاص غدة الضرع للبروجسترون من مصورة الدم وبالتالي فإن تركيز الهرمون المذكور في الحليب يتوازى مع تركيزه في مصورة الدم. وبناءً عليه، أصبح تقدير تركيز البروجسترون في الحليب طريقة مفيدة لمراقبة النشاط التناسلي وبخاصة عند الأبقار [المرجع 6 كمثال].

ويبين الشكل 1 المنحنيات (أو التغيرات) النموذجية لتركيز هرمون البروجسترون في الحليب وذلك في الأبقار الحامل وغير الحامل. وكما هو معروف، يحافظ الجسم الأصفر على حاله ويبقى عاملاً وظيفياً بعد انقضاء 16-18 يوماً على التلقيح المخصب، وتُعدّ هذه الحقيقة الأساس لاستخدام البروجسترون كوسيلة مبكرة لتشخيص الحمل. ولسوء الحظ، فإن التراكيز العالية للبروجسترون خلال الفترة مابين 18و24 يوماً بعد التلقيح المخصب لايقتصر ظهورها على حالة حدوث الحمل فقط وهي بذلك تصلح لتشخيص الحمل في 85% من الحالات فقط، وعلى نقيض ماذكر، فإن ظهور التراكيز المنخفضة للبروجسترون خلال الفترة ذاتها ينبىء بالتأكيد وبدقة تصل إلى 100% إلى عدم وجود الحمل، مما يتيح إمكانية تحديد الأبقار غير الحامل ومن ثم معالجتها في وقت مبكر. وقد أمكن أيضاً إثبات أو تأكيد الحمل في مراحل لاحقة عند الأبقار باستخدام كبريتات الاسترون [7]. كذلك يستخدم بنجاح تقدير كبريتات الاسترون بواسطة تقانة التحليل المناعي الإشعاعي وذلك لتشخيص الحمل في إناث الخنازير [8].

وقد لجأ عدد من الباحثين إلى مراقبة انخفاض تراكيز هرمون البروجسترون عند نهاية الطور اللوتئيني وذلك بهدف تحديد يوم إجراء عملية التلقيح الاصطناعي دون الحاجة إلى ملاحظة علامات الشياع. ومن نتائج دراسات متعددة [9]، أبدت الأبقار التي لقحت اصطناعياً بالاعتماد على الأسلوب آنف الذكر مستويات طبيعية من الخصوبة. وبالإمكان رسم منحنيات تغيرات هرمون البروجسترون عند الحيوانات بقياس تركيزه في عينات متكررة من دمها



شكل 1- تراكيز هرمون البروجسترون بالحليب قبل وبعد التلقيح (يوم 0) في أبقار حملت (●) أو لم تحمل (○) نتيجة ذلك التلقيح. تمثل كل نقطة على المنحني المتوسط ± الخطأ المعياري للمتوسطات SEM (40 ملاحظة) [6].

(أو حليبها) بغية مراقبة النشاط المبيضي لفترات زمنية محددة ومن ثم تحديد أو كشف النماذج الطبيعية منها أو المخالفة [6]. كذلك، أمكن استخدام تراكيز البروجسترون لتمييز الإصابة بأنواع معينة من حالة الكييسات المبيضية ovarian cystic condition [المرجع 10 كمثال].

3- التحليل المناعي الإشعاعي لهرمونات أخرى

طُبِّق مبدأ التحليل المناعي الإشعاعي على قياس هرمونات تناسلية أخرى مما أتاح إجراء دراسة تفصيلية للآليات الفزيولوجية وماستتبع ذلك من فهم أفضل للعمليات التناسلية. والمثال الذي سيناقش أدناه خاص بالهرمون اللوتئيني (LH). فخلال السنوات الأخيرة، أضحى جلياً ظهور تغيرات في أنماط إفراز هذا الهرمون إما على المدى القصير أو البعيد، لذلك فإن طبيعة المعلومات المطلوبة هي التي ستحدد التواتر اللازم لجمع العينات (أو الفترة المنقضية مابين جمع عينتين متتاليتين). فعلى سبيل المثال، يتطلب كشف التغيرات الفصلية في تراكيز الهرمون اللوتئيني في الأغنام جمع ثلاث عينات كل أسبوع، بينما يغدو ضرورياً جمع العينات بمعدل عينة واحدة كل 2-3 ساعات كحد أدنى عندما يكون المطلوب تحديد دفقة surge الهرمون التي تسبق الإباضة. ومن ناحية أخرى، يتطلب الأمر جمع عينات من الدم مرة كل بضع دقائق عندما تدعو الحاجة إلى دراسة التغيرات العارضية episodic changes لأنماط إفراز الهرمون [11].

وأدت نتائج التحليل التفصيلي للتغيرات الخاصة بطرح الهرمون اللوتئيني داخلي المنشأ endogenous LH إلى الاقتراح بأن ظهور نمط حرج وعارضي لإفراز هذا الهرمون يرتبط عادة مع عملية تنشيط الأطوار النهائية لتشكل الجريبات المبيضية [11]. والدليل الآخر على مثل هذه العلاقة الوظيفية بين الحوادث آنفة الذكر اتى من تجارب جرى فيها تحريض الإفراز العارضي لهرمون LH عن طريق إعطاء الهرمون المنشط للغدد الجنسية (GnRH) والذي كان فعالاً أيضاً في تنشيط الفعالية المبيضية عند الأغنام والماشية [12,13].

4- أسباب عدم الكفاءة التناسلية

في حال غياب الإصابة المرضية، يغدو ممكناً تصنيف مشاكل التناسل الوظيفي ضمن أربع فئات هي:

(1) الفشل في حدوث دورات مبيضية، وهي الحالة التي تعرف بغياب حقيقي للشياع true anoestrus.

(2) الفشل في إظهار الشياع في وقت مناسب (غياب سلوكي للشياع behavioral anoestrus).

(3) الفشل في الإخصاب والحمل عند إجراء تزاوج طبيعي أو تلقيح اصطناعي.

(4) صغر حجم الخلفة في الحيوانات الولودة أو انخفاض في الخصب التناسلي fecundity .

وسوف نُعالج فيما يلي هذه الفئات الأربع على التوالي مع إشارة خاصة إلى بحث حديث حول تخفيف التأثيرات الناجمة عن هذه المشاكل إن لم يكن ممكناً التغلب عليها تماماً .

4.1- غياب الشياع Anoestrus

يحدث توقف للنشاط المبيضي أو الغياب الحقيقي للشياع في ثلاث حالات هي: قبل البلوغ، وبعد الولادة، وعلى أساس فصلي في بعض الأنواع الحيوانية. ويبدو شائعاً في الحالات الثلاثة حدوث إعاقة في إفراز الهرمونات المنشطة للغدد الجنسية، وبخاصة طرح الهرمون اللوتئيني النبضي pulsatile LH release ، ولكن المسببات والآليات الأولية تبدو أيضاً مختلفة بالنسبة لكل حالة. هذا ولن تُعالج هذه الورقة الغياب الفصلي للشياع seasonal anoestrus ولو أنه سبق لهذا الموضوع أن نوقش بشكل مستفيض في السنوات الأخيرة [14] .

وقد بُذلت مساع مرموقة من خلال البحث لفهم الآليات الهرمونية الضابطة لوقت البلوغ [16,15] . ورغم أن هذا الموضوع مرتبط بحدوث فشل في إفراز الهرمون الوتئيني النبضي، إلا أن محاولات أجريت لمعالجة هذا الفشل وتحريض البلوغ عند البكاكير heifers بـستخدام الحقـــن المتكرر أو التشريب المطول prolonged infusion بالهرمون المنشط للغدد الجنسية GnRH ، ولكن هذه المحاولات حققت نجاحاً محدوداً فقط [18,17] . ومن المعروف أن الوصول إلى مرحلة البلوغ مرتبط إلى حد كبير بوزن الجسم [19] بحيث تصل عروق الماشية الأوربية النموذجية إلى مرحلة البلوغ عندما تزن حوالي 250-300 كغ وبعمر يتراوح عادة مابين 7-12 شهراً . ويبدو أن البلوغ الجنسي عند الماشية الهندية (أو ماشية الـ Zebu) يحدث بعمر متأخر عما سبق ذكره، كما يلاحظ التأخير في عمر البلوغ بشكل واضح في الجاموس أيضاً [4] ، ومن المحتمل أن يكون للتأخير في عمر البلوغ علاقة بالكسب الوزني الضعيف أثناء فترة ماقبل البلوغ. ويبدو أن هناك أملاً ضعيفاً في الحصول على حلول صيدلانية فورية لمشكلة البلوغ المتأخر، ولو أنه من المحتمل جداً أن يكمن حل هذه المشكلة من خلال توفير رعاية جيدة وتغذية محسنة .

4.1.1- غياب الشياع بعد الولادة

تتميز الفترة التي تعقب الولادة عند حيوانات المزرعة بحدوث ظاهرتي الإرضاع وتوقف النشاط المبيضي. ففي الماشية الطبيعية، غالباً ماتكون فترة غياب الشياع بعد الولادة أقصر في أبقار ماشية الحليب مما هي عليه في أبقار ماشية اللحم المرضعة. فتحت الظروف الزراعية السائدة في المملكة المتحدة، نجد أن 95% من أبقار ماشية الحليب تكون قد استعادت دوراتها المبيضية في اليوم الخمسين بعد الولادة [6] ، بينما لاتتجاوز النسبة المماثلة 40% عند أبقار ماشية اللحم [20] . وفي أنثى الخنزير، ترتبط عملية الإرضاع بغياب الشياع حتى ستة أسابيع بعد الولادة بينما يحدث الشياع والإباضة بعد انقضاء 3-10 أيام على الفطام [21] . وفي حالة الأغنام التي تحصل ولاداتها خلال فصل التناسل فغالباً مايستغرق غياب الشياع عقب الولادة فترة تتراوح بين 3-6 أسابيع [22] .

وتعمل مجموعة منوعة من العوامل الوراثية، والبيئية، وأخرى تتعلق بأمور الرعاية، على الحيوانات الحامل والوالدة لتؤثر على النشاط المبيضي خلال الفترة التي تعقب عملية الولادة. وتشمل هذه العوامل كلاً من: التغذية، والإرضاع، وفصل السنة، والمناخ، والمرض. وقد يؤدي وجود عامل واحد أو عدة عوامل مجتمعة مع بعضها إلى إطالة فترة توقف الفعالية المبيضية التي تعقب عملية الولادة. ولربما يعود السبب في ذلك إلى آليات هرمونية مشتركة ونهائية. ورغم الدراسات المكثفة المجراة في هذا المجال، لازال الفهم ضعيفاً وسطحياً لتأثير العوامل الآنف ذكرها وتداخلاتها الدقيقة على النظام العصبي الهرموني neuroendocine system . وقد قمنا مؤخراً بنشر مراجعـــة للبحوث حـــول المظاهر الهرمـــونية الخاصــة « بغياب الشياع الإرضاعي lactational anoestrus» في حيوانات المزرعة [23] .

وبطريقة ما، تسبب منبهات بيئية مثبطة انخفاضاً في إفراز الوطاء hypo thalamus للهرمون المنشط للغدد الجنسية، ونقصاً في طرح الهرمون اللوتئيني، وبالتالي وقفاً في تشكل وتطور الجريب المبيضي.

اختبر الكثير من الباحثين ولسنوات عديدة طرائق لإحداث الإباضة في الحيوانات التي تعاني من

غيب الشياع، ولكن أياً منها لم تكن كاملة الفعالية بالنسبة للحيوانات التي تبدي غياب الشياع بشكل عميق. وقد تركز عملنا على إمكانية محاكاة إفراز الهرمون المنشط للغدد الجنسية من الوطاء وذلك بإعطاء أبقار اللحم بعد الولادة حقنات وريدية متكررة من ببتيد عشاري خارجي المنشأ exogenous decapeptide وخلال فترة تصل إلى حوالي 48 ساعة [24,13]، وقد كان لهذه الطريقة فعالية متوسطة حيث أحدثت الإباضة في حوالي ثلثي الحيوانات المختبرة.

أما بالنسبة للأغنام الوالدة، فقد أحدث إعطاؤها لحقنات متكررة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية -بمعدل 100 نانوغرام كل ساعة ولمدة 48 ساعة- دفقات أو رفعات في تراكيز الهرمون اللوتئيني قبل الإباضة ومن ثم الإباضة، غير أن الوظيفة اللوتئينية بقيت ضعيفة أو ناقصة [25]. ومن خلال استخدام نظام معالجة معدل، تمكن Wright وزملاؤه من إحداث إباضة في 11 من أصل 15 نعجة وذلك بإعطائها حقنات من الهرمون المنشط للغدد الجنسية مرة كل ثلاث ساعات ولمدة 24 ساعة، ومرة كل ساعتين ولمدة 24 ساعة، ومرة كل ساعة لمدة 24 ساعة. وقد كانت الوظيفة اللوتئينية طبيعية لدى معظم النعاج المعالجة الأمر الذي حدا بالباحثين إلى الاستنتاج بأن المبيض يحتاج قبل الإباضة إلى فترة تنشيط بواسطة نبضات من الهرمون اللوتئيني وذلك لضمان الحصول على وظيفة لوتئينية طبيعية.

أما في إناث الخنازير المرضعة وغير المرضعة، فقد أُحدث الشياع والإباضة فيها عن طريق إعطائها حقنات من الهرمون المنشط للغدد الجنسية مرة كل ساعة أو مرة كل ساعتين [28,27]. وقد حدث الشياع في 3 من أصل 6 خنزيرات مرضعة تم حقنها مرة كل ساعتين بمقدار 2.5 ميكروغراماً من الهرمون المنشط للغدد الجنسية، كما حدث الشياع أيضاً في 6 من أصل 6 خنزيرات مرضعة تلقّت 1.5 ميكروغراماً من الهرمون آنف الذكر مرة كل ساعة، بينما لم يحدث الشيع في أي من الخنزيرات الشاهدة.

وفي حال ثبات نجاح التقانة المنوه بها أعلاه، فمن الواضح أن يكون لها في المستقبل فعالية مرموقة لدى عدة أنواع حيوانية، غير أن الحقن الآلي النبضي للهرمون يُعدّ، في الوقت الحالي، غير عملي من الناحية الفنية. ولهذا تحرّت الدراسات اللاحقة عن إمكانية الحقن المتواصل للهرمون المنشط للغدد الجنسية بهدف الوصول إلى النتيجة ذاتها. وهذا أيضاً طرح بحد ذاته السؤال حول الضرورة الفزيولوجية لأن يكون للإشارة الهرمونية نمط نبضي pulsatile pattern.

وفي حدود معرفتنا، لم ترد أية تقارير حول إجراء تشريب متواصل continuos infusion للنعاج الوالدة بالهرمون المنشط للغدد الجنسية، ولو أن مثل هذه التقارير وردت بالنسبة للنعاج المبدية لغياب شياع فصلي. وقد أدىّ التشريب المتواصل لجرعة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية بلغت 125 أو 250 نانوغراماً في الساعة ولمدة 48 ساعة إلى ارتفاع في تراكيز الهرمون اللوتئيني في مصورة الدم وإلى دفقات أو ارتفاعات في هذه التراكيز أيضاً قبيل الإباضة ومن ثم حصول الإباضة [29]، ولكنه كان ضرورياً للحصول على هذه النتيجة إجراء معالجة أولية بهرمون البروجسترون لضمان تشكل أجسام صفراء عيوشية viable (أو عاملة وظيفياً). أما الدراسات الخاصة بتشريب متواصل للخنزيرات بالهرمون المنشط للغدد الجنسية فهي محدودة، ولو أن Britt وزملاءه [21] أفادوا في هذا المجال بأن الخنزيرات المرضعة التي تلقت تشريباً بهذا الهرمون مقداره 2.5 ميكرغرام/ساعة ولمدة 9 أيام لم يظهر الشياع عليها إلاّ بعد بلوغها مرحلة الفطام.

وفي أحدث تجارب لنا على الماشية [24] تلقت خلالها أبقار اللحم بعد ولادتها جرعة مقدارها 1.0، أو 2.5، أو 5.0 ميكرغراماً من الهرمون المنشط للغدد الجنسية كل ساعتين ولمدة 48 ساعة مع إعطاء هذه الجرعة إما تشريباً متواصلاً أو حقناً متتالياً بمعدل 24 حقنة كل ساعتين. وقد كانت حصيلة هذه التجارب أن حدثت أعلى دفقات surges من تراكيز الهرمون اللوتئيني قبيل الإباضة في نصف عدد الأبقار التي تلقت حقناً متتالياً وفي 8 من أصل 10 أبقار تلقت أعلى جرعتين بطريقة التشريب المتواصل.

وحتى تاريخه، يبدو أن المعالجات ذات الجرعة المنخفضة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية هي أكثر نجاحاً وثباتاً من حيث إحداث الإباضة في الخنزيرة [21] والنعجة [26] عنها في البقرة [24]، ولو أن هذه النتيجة قد تعكس ببساطة اختلافات في أسلوب تنفيذ المعالجة. وفي حال ضرورة إجراء معالجات بجرعة منخفضة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية

يصبح أمراً ضرورياً استنباط نظام يتيح إيصالها عن طريق الزرق تحت الجلد ، وقد بينت تجارب حديثة في هذا المجال أجريت على البكاكير [18] إمكانية تحقيق مثل هذا النظام .

ومن غير المحتمل أن ينجح ويتطور التطبيق العملي لهذا النمط من المعالجات مالم يتوفر نظام ملائم لإيصال الهرمون وزرقه تحت الجلد . هذا ، وقد أجرى McLeod وزملاؤه [30] تجارب على عدد من وسائل النقل القادرة على التحكم بمقدار مايطلق من الهرمون المنشط للغدد الجنسية فوجدوا بأن أجهزة لزرق غِرْساتٍ implants مصنعة من «حمض الزبدة - متعدد الهيدروكسيل polyhydroxy-butyric» كانت من نجحها . ومن ناحية أخرى تبين بأن التركيبات التي تعتمد على الزيت كمادة حاملة تؤدي إلى عدم التحكم بإطلاق الهرمون بشكل كاف لمثل هذه الأغراض .

وأحاطت بعض الشكوك حول موضوع التشريب المتواصل بالهرمون المنشط للغدد الجنسية بالمقارنة مع الحقن أو الزرق المتكرر . ففي الأغنام ، أدىَ تشريب متواصل بالوريد بجرعة مقدارها2.5 ميكرغرام/ ساعة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية [31] إلى حدوث انخفاض قدره 50% في تراكيز «متقبلة النخامى الخاصة بالهرمون المنشط للغدد الجنسية pituitary GnRH receptor» وذلك بعد24 ساعة من بدء التشريب ، ولو أنه أمكن إعادة هذه التراكيز لما كانت عليه بعد إنقضاء 6 ساعات على انتهاء التشريب . أما في الأبقار ، فقد سبب تشريب جرعة مقدارها 20 ميكرغرام/ ساعة من الهرمون المنشط للغدد الجنسية الحصول على زيادة أولية في تراكيز الهرمون اللوتئيني بمصورة الدم ، أعقب ذلك عودة إلى المستويات السائدة قبل المعالجة بعد 48 ساعة من وقف عملية التشريب [32] . وبعد 14 يوماً من التشريب ، بقيت النخامى قادرة على الاستجابة ، ولو بقدر أو شدة أقل ، لإختبار إعطاء 10 ميكوغراماً من الهرمون المنشط للغدد الجنسية . وهذا يقترح أيضاً حدوث نقص في متقبلات النخامى pituitary receptors أو على الأقل حدوث شكل من أشكال إضعاف الحساسية . ورغم ماسبق التنويه به ، استخدم التشريب المتواصل بنجاح من أجل إحداث الإباضة في بعض الظروف ، ولربما كان السبب وراء إضعاف حساسية النخامى عائداً بشكل أعظم إلى تأثير حجم الجرعة وليس إلى طريقة إعطاء الهرمون بحد ذاتها .

4.2- الشياع والتحري عنه

كما سبق الإشارة إليه أعلاه ، يُعدَ الفشل في حدوث الشياع سبباً هاماً لانخفاض نسبة الخصوبة ، لكن الظاهرة الأكثر شيوعاً ربما تكمن في الفشل عن تحرّي الشياع . وأي تقدم في هذا المجال ، على المدى القصير ، يمكن إحرازه عبر التطوير المستمر لحقائب التشخيص diagnostic kits (مجموعات التحليل الجاهزة الخاصة بالتشخيص) . ويتوافر حالياً على نطاق تجاري عدد من مجموعات التحليل الجاهزة (الحقائب) الخاصة بالتحليل المناعي-الماص sorbent المرتبط بالإنزيم enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) وذلك من أجل تقدير هرمون البروجسترون ، وهي مجموعات يمكن استخدامها في نفس الوقت لحل هذه المشكلة التي نوقشت أعلاه . ويمكن في المستقبل إحراز تقدم في مجال التحري عن التغيرات الهرمونية المراوغة subtle أو تغيرات أخرى تتنبىء عن وقت الإباضة بالمقابلة مع الشياع ، وهذا بدوره سيكون أكثر ملاءمة لتوقيت إجراء عملية التلقيح الاصطناعي . وحسب وجهة نظرنا ، نرى أن قليلا من التحسين الجوهري سيطرأ في المستقبل القريب على التقانات المتوفرة حالياً في هذا المجال .

4.3- التحقق من حدوث الحمل

من الواضح أن المقدرة على الحمل تعد أساساً هاماً في تقويم الأداء التناسلي . والمعدل المنخفض للحمل بعد الإلقاح الأول هو المسبب الرئيسي للأداء التناسلي الضعيف . وفي غياب مرض معدٍ محدد ، تصبح المشكلة الرئيسية- على الأقل عند الماشية- هي الموت الجنيني المبكر[33] والذي يحدث عادة قبل حلول اليوم 25 بعد الإلقاح . هذا ، ولم يُعرف السبب الدقيق (أو جملة الأسباب) وراء الموت الجنيني المبكر ولو أن ذلك يرتبط عرضياً بتراجع أو اضمحلال مبكر (وقبل الأوان) للجسم الأصفر . وبعبارة أخرى ، يبقى الجسم الأصفر ، في الحالات الطبيعية ، طيلة فترة الحمل أما الموت الجنيني المبكر فيترافق بفقد مبكر للجسم الأصفر مما يسبب نقصاً

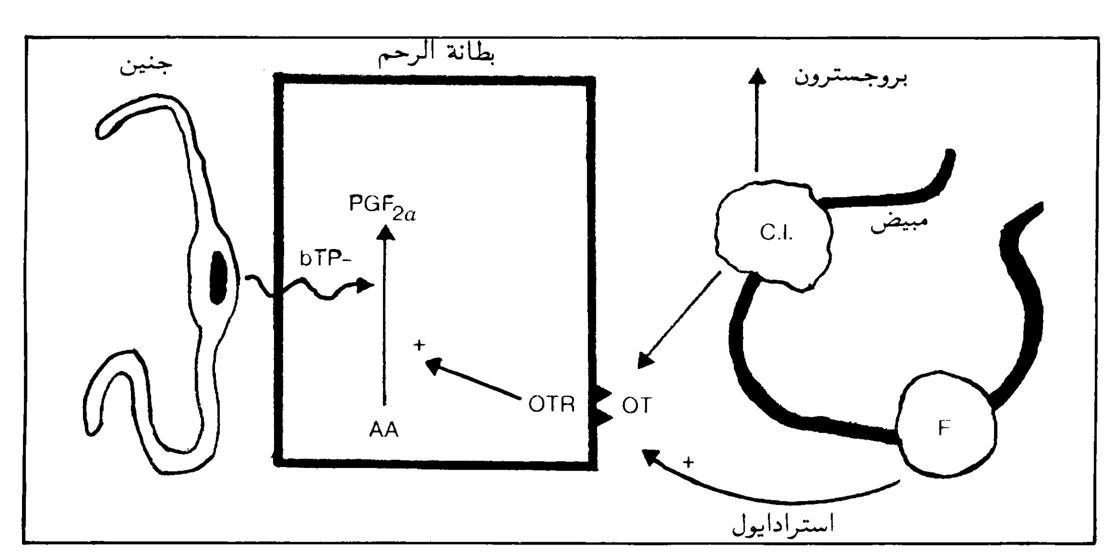
في تراكيز البروجسترون ويتيح للحيوان معاودة الشياع وربما في وقته الطبيعي.

وقبل استعراض الطرائق الخاصة بخفض نسبة النفوق الجنيني قد يكون مفيداً تقديم عرض موجز للاكتشافات الجديدة فيما يتعلق بالتحقيق من حدوث الحمل. ففي الحيوان غير الحامل، يسبب البروستاغلاندين ـ ف 2 ألفا prostaglandin $F_{2\alpha}$ المفرز من بطانة الرحم endometrium تراجعاً في الجسم الأصفر، وهذا موضح في الشكل 2.

وهناك دليل يدعو للاعتقاد بأن الاستراديول ـ17 بيتا المفرز من الجريبات المبيضية المتطورة يحث على اصطناع متقبلات للأوكسي توسين على خلايا بطانة الرحم. ويعرف الآن بأن الأوكسي توسين oxytocin، والذي هو من أصل لوتئيني [34]، يرتبط بهذه المتقبلات وبذلك يحث على اصطناع وإفراز البروستاغلاندين ـ ف 2 ألفا. وفي مرحلة مبكرة من الحمل في حيوان مجتر طبيعي، يفرز الجنين مركباً بروتينياً ذا وزن جزيئي يقارب 18000 دالتون وذا تأثير مضاد لتحلل اللوتئيني، وقد أطلق على هذا البروتين اسم «بروتين الحبيبة الاغتذائية رقم 1 الغنمي منه أو البقري ovine or bovine trophoblast protein» (ويطلق عليهما اختصاراً المصطلحين oTP1 وbTP1 للغنمي والبقري منهما على التوالي). وقد تبين حديثاً[35] أن تعاقب الحمض الأميني في oTP1 يشابه بنسبة 70.3% ذلك المتواجد في البروتين البقري المعروف باسم «ألفا2 ـ إنترفيرون α vine» 2-interferon. كما بينت دراسات لاحقة على ارتباط كل من oTP1وbTP1 بالمتقبلات المتواجدة على بطانة الرحم وبأن التشريب عبر جدار الرحم intra-uterine infusion ببروتينات الحبيبة الاغتذائية أو بالإنترفيرون المأشوب recombinant interferon يؤدي إلى إطالة الطور اللوتئيني في الحيوانات غير الحامل [35,36]. وهكذا قدمت الأبحاث آنفة الذكر الاستنتاج المحتمل الذي يفيد بأن ظاهرة النفوق لبعض الأجنة يمكن عزوها لفشل هذه الأجنة في إنتاج مقدار كافٍ من بروتين الحبيبة الاغتذائية. وعليه، فإن هذه النتائج الأولية تطرح بشكل جلي الامكانية المثيرة حول استخدام بروتين الحبيبة الاغتذائية المأشوب كوسيلة لمنع أو خفض نسبة النفوق الجنيني في الحيوانات المستأنسة.

4.3.1- تحسين نسبة الحمل

استخدمت عدة طرائق في هذا المجال من أجل تحسين نسبة الحمل عند الماشية. ومن مراجعة الأبحاث المنشورة حول مقارنات تراكيز هرمون البروجسترون مابين الأبقار الحامل وغير الحامل قبل وبعد الإلقاح [37]، أمكن الاستنتاج بأن المعطيات كانت متضاربة وغير حاسمة في مجمل النقاط. كذلك، أدى إعطاء البروجسترون خلال مرحلة الحمل



شكل 2- العلاقة بين الجنين، وبطانة الرحم والمبيض.
bTP: بروتين الحبيبة الاغتذائية البقري؛ AA = حمض الأراكادونيك؛ OT = أوكسي توسين؛ OTR = متقبلة الأوكسي توسين؛ C.I = جسم أصفر، F: جريب.

البكر إلى نتائج غير قاطعة ولو أنه يبدو فعالاً عندما تكون نسبة الحمل المراقبة منخفضة بشكل خاص، أي عندما تقع في حدود 40% أو أقل.

وأجريت أيضاً دراسات عديدة حول إعطاء الهرمون المشيمي (المشابه للهرمون اللوتئيني) أو الهرمون المنشط للغدد الجنسية، وذلك في يوم الإلقاح، ولكن النتائج بمجملها لم تكن حاسمة أيضاً.

واستخدم Mac Millan وزملاؤه [38] طريقة مختلفة إلى حد ما وذلك في محاولة لدعم الجسم الأصفر عندما يصبح حساساً لاليات تحلله، أي عند الاقتراب من اليوم 16 بعد الشياع عند البقرة. وبموجب هذه الطريقة، أعطيت الأبقار (حوالي 225 بقرة) حقنة واحدة بمقدار 10 ميكوغراماً من مادة البوسريلين buserelin (وهي مركب اصطناعي مضاهي analogue للهرمون المنشط للغدد الجنسية) وذلك في اليوم 11، أو 12، أو 13 بعد عملية التلقيح الاصطناعي. وتم جس الأبقار المعالجة والشاهد مابين الأسابيع 6 إلى 9 بعد عملية التلقيح الاصطناعي وذلك للتأكد من حدوث الحمل، أما الأبقار التي أبدت شياعاً فجرى تلقيحها اصطناعياً مرة ثانية. هذا وقد بلغت نسبة الحمل خلال الأسابيع من 6 إلى 9 بعد الإلقاح الاصطناعي 72.4% و 60.9% وذلك بالنسبة لكل من الأبقار المعالجة والشاهد على التوالي. أما بالنسبة للأبقار التي أعيد تلقيحها اصطناعياً للمرة الثانية، فبلغت نسبة الحمل فيها 85.1% و 69.5% وذلك بالنسبة لكل من الأبقار المعالجة والشاهد على التوالي. وكانت الفروقات بين مجموعتي الأبقار (المعالجة والشاهد) معنوية، وبشكل عال، في كلا الحالتين. وفي تجربة لاحقة [36]، حُقنت خلالها أبقار غير حامل بمقدار 10 ميكوغراماً من البوسريلين بفاصل زمني قدره 3 أيام بدءاً من اليوم 12 من دورة الشياع وحتى اليوم 48، أمكن الحفاظ على الأجسام الصفراء في تلك الأبقار طيلة فترة المعالجة. وقد أمكن الآن تأكيد النتائج التي حصل عليها Mac Millan وزملاؤه [38] تحت ظروف الحقل في المملكة المتحدة [39] (انظر الجدول 1) والحصول على زيادة في نسبة الحمل قدرها 12% في الأبقار المعالجة. وقد تم أيضاً التوصل إلى تحسينات مشابهة عند الأغنام عن طريق معالجتها بالبوسريلين خلال مرحلة الطور اللوتئيني [40].

وكتفسير لنتائج الحالات المنوه بها آنفاً، اُقترح [36] بأن البوسريلين يعمل على إعاقة الموجات الطبيعية لنمو الجريبات المبيضية ولهذا فهو يعيق إفراز الاستراديول خلال هذه الفترة مما يؤدي إلى فشل اصطناع متقبلات الأوكسي توسين والتي تمثل بدورها خطوة هامة وضرورية لآلية تحلل الجسم الأصفر (انظر الشكل 2). ومن المحتمل أيضاً تشكل أجسام صفراء إضافية يمكنها أن تعزز أو تزيد من إنتاج البروجسترون.

4.4- تحسين الخصب التناسلي

كان هدف علماء التناسل، ولأمد طويل، زيادة معدل الإباضة والذي يؤدي بدوره إلى زيادة في حجم الخلفة (أو عدد المواليد). واستخدم من أجل ذلك عدد من الطرائق والتي منها استخدام الهرمونات المنشطة للمناسل gonadotrophins، وبخاصة تلك التي لها فعالية مشابهة لتلك الخاصة بالهرمون المنشط للجريب (FSH). وقد كان لاستخدام مثل هذه الهرمونات المنشطة للمناسل دورها في برامج نقل الأجنة. أما الطرائق الأخرى التي ستناقش هنا

الجدول 1- تأثير المعالجة بالبوسريلين buserelin في اليوم 12 بعد التلقيح الاصطناعي على نسبة الحمل عند الأبقار [39].

المعيار	أبقار معالجة	أبقار شاهد	معنوية الفروق
نسبة الحمل من التلقيح الأول	65.4%	53.4%	$P < 0.01$
نسبة الحمل من تلقيحات متكررة	59.4%	52.9%	غير معنوية
عدد الأيام من الولادة إلى الحمل	85.3	91.4	$P < 0.01$
النسبة المئوية للأبقار العقيمة	5.3	10.2	غير معنوية
عدد التلقيحات اللازمة لحمل واحد	1.58	1.88	غير معنوية

بشكل مقتضب فهي التمنيع immunization ضد كل من الستيروئيدات والإنهيبين.

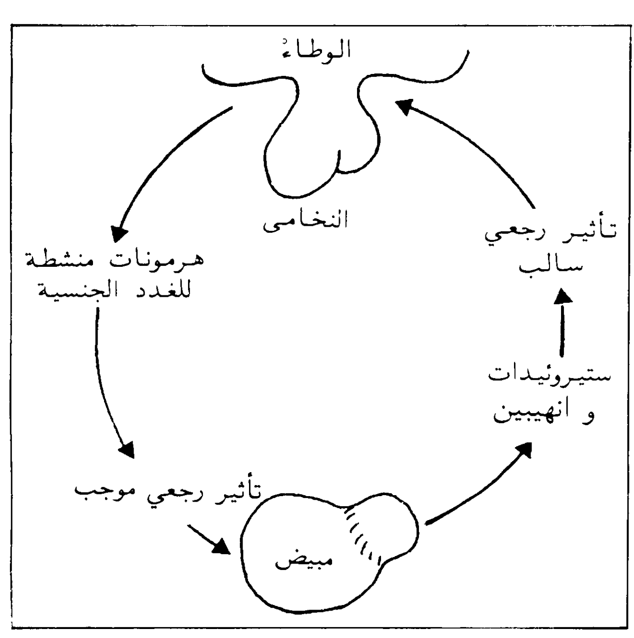
4.4.1- التمنيع ضد الستيردئيدات

للستيروئيدات المبيضية تأثير رجعي سلبي negative feedback أو مثبط لإفراز الهرمونات المنشطة للمناسل (الشكل 3). وقد تبين أن تمنيع الأغنام ضد أنواع مختلفة من الستيروئيدات يؤدي إلى زيادة في معدل الإباضة ومايستتبع ذلك من زيادة في نسبة الحملان المولودة lambing percentage [40]. ومن أكثر الطرائق فاعلية في هذا المجال كان التمنيع الفاعل ضد الأندروستينديايون androstenedione، وهو مركب مولد للإستروجين، كما كان مثل هذا التمنيع الأساس في إنتاج مركب «فيكونديـن fecundin» (cooper-Pitman-Moore,Crewe,UK). وقد بيّنت التجارب الحقلية المجراة على أكثر من 3000 غنمة في المملكة المتحدة جرى تمنيعها ضد المركب الآنف ذكره حدوث زيادة وسطية قدرها 25% في نسبة الحملان المرباة [41]، غير أنه في نفس الوقت لوحظ وجود تباين مرموق (تراوح مابين -2 وحتى +49%) في الاستجابة مابين المزارع المختلفة مما يقترح حدوث تداخلات مع العرق والتغذية وعوامل أخرى. ولهذا لم يلق المركب المذكور نجاحاً على النطاق التجاري في المملكة المتحدة، ولربما ساهمت في ذلك عوامل أخرى منها التقانة المعقدة نسبياً لهذه الطريقة ولكونها تحتاج إلى ظروف رعاية دقيقة جداً من أجل الحصول على أقصى فائدة متوخاة منها. ومن وجهة نظرنا، لابد لنجاح مثل هذه التقانات أن تكون متينة وذات قدرة تحمل عظيمة كي يكون أداؤها سليماً ومستمراً تحت الظروف الحقلية، وهذا يشكل بحد ذاته صعوبة رئيسية تواجه استخدام مثل هذه التقانات في بلدان عديدة. وحتى وقتنا الراهن، لم تثبت في الماشية إمكانية الحصول بشكل مستمر على إباضات ثنائية باستخدام تقانات التمنيع الستيروئيدي.

4.4.2- التمنيع ضد الإنهيبين

الإنهيبين inhibin عبارة عن ببتيد تنتجه المناسل في كل من الذكر والأنثى والذي يعمل، وبشكل انتقائي، على تثبيط إفراز الهرمون المنشط للجريب FSH (انظر الشكل 3). وفي الأنثى، يُفرز الإنهيبين من الخلايا الجريبية الحُبابية follicular granulosa cells [42] ويتراكم في السائل الجريبي [43]. وللإنهيبين المتحصل عليه من الأغنام والماشية وزن جزيئي يبلغ 32000 دالتون ويتركب من تحت وحدتين هما ألفا وبيتا. وقد تبيّن بأن الجريبات الأكبر حجماً (أكبر من 0.5 مم) هي المصدر الرئيسي للإنهيبين عند الأغنام [44]. ويؤدي إعطاء الإنهيبين، المتحصل عليه من أنواع حيوانية مختلفة والموجود عادة على صورة سائل جريبي معالج بالفحم (لإزالة الستيروئيدات)، إلى تثبيط في إفراز الهرمون المنشط للجريب في مصورة الدم، والذي يحدث عادة بعد فترة تأخر تستغرق من 2-3 ساعات [45]. وفي النعاج السليمة، يعقب التثبيط الأولي لإفراز الهرمون المنشط للجريب زيادة تعويضية في إفرازه [46].

وتُستغل تأثيرات الإنهيبين بتمنيع الحيوانات ضده وبالتالي زيادة إفراز الهرمون المنشط FSH. وقد أمكن إجراء التمنيع ضد أجزاء من السائل الجريبي المحتوي على فعالية للإنهيبين وأدى ذلك إلى زيادة عابرة في متوسط نسبة الإباضة، حيث ارتفعت هذه النسبة في عدد قليل من النعاج من 1.2 إلى 2.3، والتي أمكن أيضاً تحقيقها في سنوات لاحقة بعد إعطاء جرعات معززة [47,48]. كذلك، بيّنت الدراسات الحديثة



شكل 3- العلاقة بين الهرمونات المبيضية والهرمونات المنشطة للغدد الجنسية.

إمكانية إحداث زيادة مسيطر عليها في نسبة الإباضة وذلك عن طريق التمنيع ضد الإنهيبين في الأبقار [49] والخنازير [50] .

5- استنتاجات ختامية

نقد تم بإيجاز استعراض مجالات مختارة لبحوث حديثة في حقل فيزيولوجيا التناسل عند حيوانات المزرعة . وتبيَن بأن تطبيق التقانة الحيوية biotechnology سيُحدث إمكانات تقدم مثيرة في مجال تحوير وتحسين الخصوبة الحيوانية ، وبخاصة من خلال اصطناع الببتيدات ذات الفعالية الهرمونية ومن خلال استنباط الجديد من المركبات المستمنعة immunogens (أو المولدة للضد) . ولكن ، لابد ، وبقدر الامكان ، أن يواكب تطوير المعرفة الفيزيولوجية تطويراً لكل من الأنظمة الخاصة بإيصال العقاقير والأنظمة المساعدة على إعطاء اللقاحات وذلك حتى يتسنى تطبيق المكتشفات الجديدة في أقرب فرصة ممكنة .

في الختام، ومن خلال خبراتنا السابقة نود الإشارة إلى ملاحظتين تحذيريتين ، ألا وهما : (آ) قد لايكون ملائماً إدخال معالجات التقانة الحيوية المعقدة عالية التطور من أجل تحسين الخصوبة مالم تتوفر حدود دُنيا من ظروف الرعاية والتغذية ومكافحة المرض ، و(ب) سوف يتطلب الأمر استنباط منتجات موثوقة جداً ومتينة وذات قدرة تحمل عظيمة إذا ماأردنا لها النجاح في بيئة حقلية عدوانية قاسية .

REFERENCES المراجع

[1] THATCHER, W. W.,Effects of season,climate and temperature on reproduction and lactation, J. Dairy Sci. **57**(1984) 30.

[2] JAINUDEEN, M. R., "Reproduction of draught animals: Does work affect female fertility?", Draught Animal Power for Production (COPLAND, J. W., Ed.), ACIAR proc. Series No. 10, Australian Centre for Int. Agricultural Research, Canberra (1985) 130-133.

[3] MOMONGAN, V. G., "Reproduction in draught animals", ibid., pp. 123-128.

[4] DOBSON, H., KAMPONPATANA, M., A review of female cattle reproduction with special reference to a comparison between buffaloes, cows and zebu, J. Reprod. Fertil **77** (1986) 1-36.

[5] JEGGO, M. H., RICHARDS, J.I., DARGIE, J. D., "The use of immunoassay diagnostic kits in developing countries", Biotechnology and Livestock in Developing Countries (Proc. Conf. Edinburgh, 1989) (HUNTER, A., Ed.), Centre for Tropical Veterinary Medicine, Edinburgh (1991) 286-303.

[6] BULMAN, D. C., LAMMING, G.E., Milk progesterone levels in relation to conception, repeat breeding and factors influencing acyclicity in dairy cows, J. Reprod. Fertil. **54** (1978) 447-458.

[7] HAMMON, M., FLEET, I.R., HOLDSWORTH, R.J., HEAP, R.B., The time of detection of oestrone sulphate in milk and the diagnosis of pregnancy in cows, Br. Vet.J. **137** (1981) 71.

[8] CUNNINGHAM, N.F., HATTERSLEY, J.J.P., WRATHALL, A.E., Pregnancy diagnosis in sows based on serum oestrone sulphate concentration, Vet. Rec. **113** (1983) 229-233.

[9] McLEOD, B.J., FOULKES, J.A., WILLIAM, M.E., WELLER, R.F., Predicting the time of ovulation in dairy cows using on-farm milk progesterone kits, Anim. Prod. **52** (1991) 1-10.

[10] DOBSON, H., RANKING, J.E.F., WARD, W.R., Bovine cystic ovarian disease: Plasma hormone concentrations and treatment, Vet. Rec. **110** (1977) 459-461.

[11] FOXCROFT, G.R., HARESIGN, W., HAYNES, N.B., LAMMING, G.E., PETERS, A.R., Gonadotrophins-Domestic animals, Acta Endocrinol. **288** (1988) 41-50.

[12] McLEOD, B.J., HARESIGN, W., LAMMING, G.E., Response of seasonally anoestrous ewes to small-dose multiple injections of GnRH with and without progesterone pretreatments, J. Reprod. Fertil. **65** (1982) 223-230.

[13] RILEY, G.M., PETERS, A.R.,LAMMING, G.E., Induction of pulsatile LH release, FSH release and ovulation in post-partum acyclic beef cows by repeated small doses of GnRH. J. Reprod. Fertil. **63** (1981) 559-565.

[14] ELLENDORFF, F., ELSAESSER, F., Endocrine Causes of Seasonal and Lactational Anoestrus in Farm Animals, Nijhoff, Dordrech (1985).

[15] FOSTER, D.L., YELLON, S.M., OLSTER, D. H. Internal and external determinants of timing of puberty in the female, J. Reprod. Fertil. **75** (1985)3344.

[16] DODSON, S.E., McLEOD, B.J., HARESIGN, W., PETERS, A.R., LAMMING, G.E.,

Endocrine changes from birth to puberty in the heifer, J. Reprod. Fertil. **82** (1988) 527-538.

[17] McLEOD, B.J., PETERS, A.R., HARESIGN, W., LAMMING, G.E., Plasma LH and FSH responses and ovarian activity in prepubertal heifers treated with repeated injections of low doses of GnRH for 72 h, J. Reprod. Fertil. **74** (1985)5

[18] JAGGER, J.P., PETERS, A.R., McLEOD, B.J., LAMMING, G.E., Pituitary and ovarian responses to prolonged administration of low doses of GnRH in prepubertal heifers, Anim Reprod. Sci **18**(1989)111-124.

[19] SORENSON, A.J., et al., Causes and prevention of reproductive failures in dairy cattle. I. Influence of underfeeding and overfeeding on growth and development of Holstein heifers, Bull. Cornell Univ. Agric. Exp. Sta. (1959) 936-951.

[20] PETERS, A.R., RILEY, G.M., Milk progesterone profiles and factors affecting post-partum ovarian activity in beef cows, Anim. Prod.**34**(1982)145-153.

[21] BRITT, J.H., ARMSTRONG, J.D., COX, N.M., ESBENSHADE, K.L., Control of follicular development during and after lactation in sows, J. Reprod. Fertil., Suppl. 33 (1985)37-54.

[22] HUNTER, G.L., Some factors affecting rebreeding during the post-partum period Anim. Breed. Abstr. **36** (1968) 347-377.

[23] PETERS, A.R., LAMMING, G.E., Lactational anoestrus in farm animals, Oxford Rev. Reprod. Biol.**12**(1990)245-288.

[24] JAGGER, J.P., PETERS, A.R., LAMMING, G.E., Hormone responses to low-dose GnRH treatment in post-partum beef cows, J. Reprod. Fertil.**80**(1987)263-269.

[25] WRIGHT, P.J., GEYTENBEEK, P.E., CLARKE, I.J., FINDLAY, J.K., LH release and luteal function in post-partum acyclic ewes after the pulsatile administration of LH-RH, J. Reprod. Fertil. **67** (1983) 257-262.

[26] WRIGHT, P.J., GEYTENBEEK, P.E., CLARKE, I.J., FINDLAY, J.K., Induction of plasma LH surges and normal luteal function in acyclic post-partum ewes by the pulsatile administration of LH-RH, J. Reprod. Fertil. **71** (1984)1-6.

[27] COX, N.M., BRITT, J.H., Pulsatile administration of GnRH to lactating sows: Endocrine changes associated with induction of fertile oestrus, Biol. Reprod. **27** (1982) 1126-1137.

[28] ARMSTRONG, J.D., BRITT, J.H., Pulsatile administration of gonadotrophin-releasing hormone to anoestrous sows: Endocrine changes associated with GnRH- induced and spontaneous oestrus, Biol. Reprod. **33** (1985) 375-380.

[29] McLEOD, B.J., HARESIGN, W., LAMMING, G.E. Inducti on of ovulation in seasonally anoestrous ewws by continuous infusion of low doses of GnRH, J.Reprod . Fertil **68** (1983) 489-495.

[30] McLEOD, B.J., HARESIGN, W., PETERS, A.R., HUMKE, R., LAMMING, G.E., The development of subcutaneous delivery preparations of GnRH for the induction of ovulation in acyclic sheep and cattle, Anim. Reprod. Sci. **17** (1988) 33-50.

[31] CROWDER, M.E., HERRING, R.D., NETT, T.M., Rapid recovery of gonadotroph function after down-regulation of receptors for GnRH in ewes, J. Reprod. Fertil. **78** (1986) 577-585.

[32] LAMMING, G.E., McLEOD, B.J., Contin uous infusion FnRH reduces the LH response to an intravenous GnRH injection but does not inhibit endogenous LH secretion in cows, J. Reprod. Fertil. **82** (1988) 237-246.

[33] SREENAN, J.M., DISKIN, M.G., "The extent and timing of embryonic mortality in the cow", Embryonic Mortality in Farm Animals (SREENAN, J.M., DISKIN, M.G., Eds), Nijhoff, Dordrecht (1986) 1-11.

[34] WATHES, .D.C., Possible actions of gonadal oxytocin and vasopressin, J. Reprod. Fertil. **71** (1984) 315-345.

[35] STEWART, H.J., FLINT, A.P.F., LAMMING, G.E., McCANN, S.H.E., PARKINSON, T.J., Antiluteolytic effects of blastocyst-secreted interferon investigated in vitro and in vivo in the sheep, J. Reprod. Fertil., Suppl. 37 (1989) 127-138.

[36] THATCHER, W.W., MacMILLAN, K.L., HANSEN, P.J., DROST, M., Concepts for regulation of corpus luteum function by the conceptus and ovarian follicles to improve fertility, Theriogenology **31** (1989) 149-164.

[37] DISKIN, M.G., SREENAN, J.M., "Progesterone and embryo survival in the cow", Embryonic Mortality in Farm Animals (SREENAN, J.M., DISKIN, M.G., Eds), Nijhoff, Dordrecht (1986) 142-158.

[38] MacMILLAN, K.L., TAUFA, V.K., DAY, A.M., Effects of an agonist of gonadotrophin releasing hormone (buserelin) in cattle. III. Pregnancy rates after a post-insemination injection during metoestrus or dioestrus, Anim. Reprod. Sci. **11** (1986) 1-10.

[39] DREW, S.B., PETERS, A.R., "The effect of treatment with a gonadotrophin releasing hormone on the fertility of dairy cows", Proc. British Society of Animal Production Winter Meeting, Scaborough, 1991, Anim. Prod. (in

press).
[40] McMILLAN, W.H., KNIGHT, T.W., MacMILLAN, K.L., Effects of gonadotrophin releasing hormone (buserelin) on sheep fertility, Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod. **46** (1986) 161-163.
[41] SCARAMUZZI, R.J., HOSKINSON, R.M., "Active immunization against steroid hormones for increasing fecundity", Immunological Aspects of Reproduction in Mammals (CRIGHTON, D.B., Ed.), Butterworth, London (1984) 445-474.
[42] STUBBING, L.A., MAUND, B.A., Effects on the fecundity of Sheep of immunization against androstenedione, Vet. Rec. **123** (1988) 489-492.
[43] ERICKSON, G.F., HSUEH, A.J.W., Secretion on inhibin rat granulosa cells in vitro, Endocrinology **103** (1978) 1960-1963.
[44] TSONIS, C.G., et al., Inhibin in individual ovine follicles in relation to diameter and atresia, J. Reprod. Fertil. **67** (1983) 83-90.
[45] FINDLAY, J.K., TSONIS, C.G., STAPLES, L.D., CAHILL, R.N.P., Inhibin secretion by the sheep ovary, J. Reprod. Fertil. **76** (1986) 751-761.
[46] FINDLAY, J.K., ROBERTSON, D.M., CLARKE, I.J., Influence of dose and route of administration of bovine follicular fluid and the suppressive effect of purified bovine inhibin (MW 31 000) on plasma FSH concentrations in ovariectomized ewes, J. Reprod. Fertil. **80** (1987) 455-461.
[47] McNEILLY, A.S., Effect of changes in FSH induced by bovine follicular fluid and FSH infusion in the pre-ovulatory phase on subsequent ovulation and corpus luteum function in the ewe, J. Reprod. Fertil. **74** (1984) 661-668.
[48] CUMMINS, L.J., O'SHEA, T., AL-OBAIDI, S.A.R., BINDON, B.M., FINDLAY, J.K., Increase in ovulation rate after immunization of Merino ewes with a fraction of bovine follicular fluid containing inhibin activity, J. Reprod. Fertil. **77** (1986) 365-372.
[49] GLENCROSS, R.G., BLEACH, E.C., McLEOD, B.J., BEARD, A.J., KNIGHT, P.G., Increased ovulation rate in heifers immunized against a synthetic peptide sequence of bovine inhibin, J. Reprod. Fertil., Abstr. Ser. No 6 (1990) Abstr. 30.
[50] BROWN, R.W., et al., Immunization against recombinant bovine inhibin subunit causes increased ovulation rates in gilts, J. Reprod. Fertil. **90** (1990) 199-205.

Key Words — **الكلمات المفتاح**

1-oestrous cycle .... دورة الشياع (الشبق)
2-fertility .... خصوبة
3-follicle stimulating hormone (FSH) .... الهرمون المنشط للجريب
4-fusion .... تشريب
5-radioimmunoassay .... تحليل مناعي إشعاعي
6-ovulation .... إباضة
7-immunization .... تمنيع
8-artificial insemination .... تلقيح اصطناعي
9-biotechnology .... تقانة حيوية

هل النواقل الفائقة فائقة النقل حقاً ؟ ★

د. ا. هيوز
مخابر بلAT و T، في موري هيل نيوجرسي، الولايات المتحدة الأمريكية

م. ب. ا. فيشر
مركز أبحاث واتسون التابع لـ IBM، يوركتاون هايت ـ نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية

د. س. فيشر
قسم الفيزياء، جامعة هارفارد، كامبريدج، ماساشوسيتس، الولايات المتحدة الأمريكية

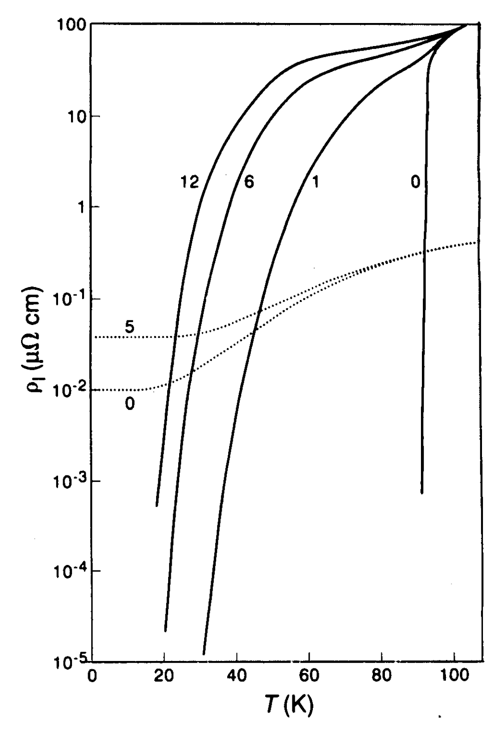
ملخص

إن الفرق الأكثر إثارة بين سلوك النواقل الفائقة ذوات درجات الحرارة العالية من أكاسيد النحاس وسلوك ما سبقها من النواقل الفائقة ذوات درجات الحرارة المنخفضة من النمط II هو أن التناقص التدريجي للمقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة، بوجود حقل مغنطيسي، يكون أكبر في النمط II. وهذا يثير سؤالاً فيما إذا كان للناقل الفائق من النمط II مقاومية معدومة تماماً، عند تبريده في حقل مغنطيسي. يشير البرهان النظري والتجريبي الآن إلى أنه بانخفاض درجة الحرارة، ثمة انتقال طوري واضح نحو طور فائق الناقلية حقيقي، تهيمن فيه الشوائب ويحوي ترتيباً فوضوياً مجمَّداً لدوامات Vortices تدفق مغنطيسي.

في عام 1911، وجد ك. أونس Onnes أن المقاومية الكهربائية للزئبق تزول فجأة عند درجة حرارةٍ أدنى من 4.2 كلفن. وقد قادت هذه المشاهدة التاريخية للناقلية الفائقة إلى الكشف عن حشدٍ من ظواهر متعلقة بها، من بينها طرد الحقول المغنطيسية الخارجية (أثر مايسنر Meissner effect)، واستكمام التدفق المغنطيسي. بلغت محاولات فهم هذه الظواهر ذروتها في النظرية الظاهراتية لـ جينزبورغ Ginzburg ولانداو Landau. وقد قدمت نظرية باردن ـ كوبر ـ شرايفر Bardeen - Cooper - Schreiffer (BCS) المجهرية تبريراً لنظرية جينزبورغ ـ لانداو وفسَّرت كثيراً من خواص أخرى للنواقل الفائقة [1]. ورغم أن غالبية الخواص الجهرية (الماكروسكوبية) للنواقل الفائقة أصبحت مفهومة بحلول عام 1970، بيد أنه بقيت مسائل نظرية متعلقة بفهم الزوال الظاهري للمقاومية في مجموعة واسعة من النواقل الفائقة: مواد النمط II. ومن دواعي السخرية، أن الخاصة الأصلية والمُعرِّفة للنواقل الفائقة، ألا وهي المقاومية المنعدمة، كانت الخاصة الأقل فهماً في بعض الآحيان.

أدى اكتشاف النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة الحرجة من أكسيد النحاس في عام 1986 إلى إحياء الاهتمام بالناقلية الفائقة وإلى تطوير مجموعة جديدة من مواد النمط II حيث تكمن الناقلية الفائقة في طبقات CuO_2. وبالرغم من أن الاهتمام قد تركَّز على الآلية المجهرية للناقلية الفائقة في هذه المواد وعلى خصائصها المميَّزة في حالتها العادية، فإن كثيراً من خواصها الجهرية تتباين بشكل لافتٍ للنظر عمّا هي عليه في ما سبقها من النواقل الفائقة. يبيّن الشكل1 مقاومية المركب $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ (المعروف بـBSCCO) على سُلَّم لوغارتمي بتابعية درجة الحرارة ومن أجل حقول مغنطيسية مختلفة الشدة. ففي الحقل المغنطيسيّ المعدوم يظهر الزوال المفاجيء

★ هذا المقال منشور في مجلة *Nature*, Vol. 358, 13 August 1992 . ترجمهُ الدكتور عادل حرفوش ـ قسم الكيمياء ـ وراجعه الدكتور توفيق قسام ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.



الشكل 1- تابعية مقاومية الاستجابة الخطية لدرجة الحرارة (T)، $\rho_l = \lim_{J \to 0}[E/J]$، حيث E الحقل الكهربائي و J كثافة التيار في المادة. نتجت المنحنيات المتواصلة من أجل $Bi_2Sr_2CaCu_8O_{8+\delta}$ (BSCCO) و، للمقارنة، رُسم المنحنيان المتقطعان من أجل النحاس ذي الناقلية العالية. نتج كل منحن عن قيمة خاصة للحقل المغنطيسي، مقاسة بـ التسلا. أخذت هذه البيانات من المراجع 33 - 35. يبقى هبوط المقاومية في النواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة حاداً تماماً حتى بوجود حقل مغنطيسي (كما هو الحال من أجل BSCCO في الحقل الصفري فقط).

للمقاومة عند درجة حرارة تحوّل حرجة $T_C \approx 90K$، غير أنه في حقول مغنطيسية معتدلة، شداتها بضع واحدات من التسلا، تكون المقاومية قابلة للقياس حتى عند درجات حرارة أدنى من 20K بخلاف التوقع لذي يفترض زوالها الفجائي عند درجة حرارة $T_{C2}(H)$ قريبة من 80 K. وفي الواقع، بوجود حقول أشد من 5T، لايُصبح المركب BSCCO أفضل نقلاً من نحاس جيد إلاّ دون الدرجة 30K. تثير هذه المعطيات أسئلةً أساسية. هل BSCCO هو بالفعل فائق الناقلية (بمقاوميّة معدومة حقاً) عند درجات حرارة منخفضة وبوجود حقل مغنطيسي؟ وبتعبير أعم، هل النواقل الفائقة من النمط II تعاني انتقالاً طورياً حقيقياً إلى حالةٍ ذات مقاومية معدومة تماماً عندما تبرد في حقل مغنطيسي، أم أن العملية مجرد انخفاض بالمقاومية إلى حدٍ يصعب معه قياسها؟ سنستعرض هنا المحاولات الحديثة التي جرت للإجابة عن هذه الأسئلة ومايتصل بها. ورغم أن هذه القضايا يمكن أن تندرج تماماً ضمن إطار نظرية جينزبورغ لانداو التقليدية، وإن يكن ذلك بقيم غير متعارف عليها للوسطاء، تتطلب الإجابات عنها فهماً للتأثيرات المتبادلة ما بين التأرجحات الحرارية القوية، والشوائب المتوضعة عشوائياً وعيوب بلّورية أخرى، وبين النقل في الأوساط غير المرتبة. شهد كل مجال من هذه المجالات تطوراً واسعاً في النظرية والتجربة وفي سياقاتٍ أخرى خلال العقدين المنصرمين. ولم يكن فهمنا الحالي على الأقل بالنسبة للأسئلة الرئيسية إن لم يكن لجميع الأجوبة المتعلقة بالناقلية الفائقة ـ ممكناً لولا التحسينات التي طرأت في هذه المجالات اللامترابطة ظاهرياً خلال الفترة الواقعة ما بين 1970 و 1985 تقريباً التي كان بحث الناقلية الفائقة فيها معلقاً نسبياً.

خطوط التدفق والدوّامات

عندما يبرَّد ناقل فائق إلى ما دون درجة حرارة تحوُّله، تتزاوج الإلكترونات معاً لتشكل أزواج كوبر Cooper pairs. وبالرغم من أن النظرية المجهرية BCS تعطي تفسيراً لسبب حدوث هذا التزاوج، تبقى نظرية جينزبورغ - لانداو، الأقدم والأبسط والأكثر ظاهراتية، كافية، بل وضرورية حقاً، لفهم كثير من الخواص المميزة، الأكثر لفتاً للنظر، لطور النقل الفائق [1]. فهي تُركِّزُ تحديداً على التابع الموجي الكمومي المترابط، ψ، لأزواج كوبر، وتغيراته في المكان والزمان، وعلى تأثيراته المتبادلة مع الحقلين الكهربائي والمغنطيسي. وهذا التابع الموجي هو مقدار سُلَمي عقدي ويمكن بالتالي تمييزه بسعته وطوره: $\psi = |\psi| e^{i\phi}$.

تتغير بوجه عام كل من سعة التابع الموجي وطوره في المكان والزمان، لكن التعالقات المكانية في الطور، ϕ، لها الأولوية في تشكل الخواص المدهشة للناقلية الفائقة. فعندما تُبرَّد المادة إلى حالة الناقلية الفائقة، بغياب الحقل المغنطيسي، يصبح طور التابع الموجي متعالقاً جهرياً macroscopically correlated، وله نفس

القيمة الوسطية زمنياً في كل نقاط المادة. وتعرف مثل هذه التعالقات الجهرية بـ «الترتيب (النَّسْق) بعيد المدى long-range order» وهو مفهوم يقوم بدورٍ رئيسي في فيزياء المادة المكثفة الحديثة.

هناك مثال تقليدي آخر عن الترتيب (النّسق) البعيد المدى نجده في المواد المغنطيسية. تظهر هذه الترتيبات في عدد لا يحصى من التشكيلات، بدءاً من المواد ذات المغنطيسية الحديدية والمواد ذات المغنطيسية الحديدية المعاكسة وحتى المواد المثبطة الغريبة exotic frustrated materials المسمـــــــاة «الزجاجيات السَّبينيَّة» spin glasses [2]. توجد تشابهات مثمرة بين أنماط الترتيب المغنطيسي وبين الحالات المُنظَّمة لناقل فائق عندما نضعه في حقل مغنطيسي، كما يوضحه الشكل 2. إذ يمكن أنَّ نتصور سَبينات الإلكترونات في جسم صلب كمغانط مجهرية بالغة الصغر. ففي مادة ذات مغنطيسية حديدية، تقود التأثيرات المتبادلة بين السبينات إلى توجيهها وفق إتجاه واحد عبر المادة كلها. تُنتجُ هذه الظاهرة التعاونية مغنطيساً دائماً، حيث يتجه كل سبين وسطياً نحو القطب الشمالي للمغنطيس، مثلاً. إن ترتيباً مغنطيسياً بعيد المدى كهذا يشابه إلى حد كبير الترتيب البعيد المدى في ناقل فائق، حيث يقوم اتجاه ψ في المستوى العقدي (الطور φ) بدور التوجيه السبيني.

إن إحدى الخواص المميزة التقليدية لناقل فائق، والتي غالباً ما تستعمل في اختبار مواد جديدة للدلالة على إمكانيتها للنقل الفائق، هي طرد الحقل المغنطيسي الخارجي الضعيف وهو ما يعرف بأثر مايسنرِ (الشكل 2). ورغم أن النواقل الفائقة تطرد حقولاً مغنطيسية ضعيفة، فإن الحقل ذا الشدَّةِ الكافية سيخترق المادة، لكنه سيترك عواقب غير اعتيادية. ففي النواقل الفائقة من النمط I لا يمكن للحقل المغنطيسي اختراق المادة إلا على حساب تدمير الناقلية الفائقة. أما في النمط II من النواقل الفائقة، فهناك حلٌ وسط: يتم طرد الحقول الضعيفة، بينما الحقل الذي تزيد شدته على قيمةٍ حرجةٍ دنيا، H_{c1}، يخترق المادة بصورة لا متجانسة، مشكلاً الحالة

الشكل 2- مخططات لترتيب سبيني في نظم مرتبة مغنطيسيا (القسم اليساري، حيث تشير السهام إلى توجه السبينات الموضعية) والأطوار المشابهة الترتيب في ناقل فائق (القسم اليميني). ففي طور مايسنر للناقل الفائق (العلوي) يُطرد كل من الحقل المغنطيسي والدوامات من المادة، كما توضحه خطوط الحقل المغنطيسية حول كرة فائقة الناقلية مثالية. ومن أجل الشبكة الدوامية والزجاج الدوامي فقد أشير لأوضاع الألباب الدوامية بنقاط وللتيارات السارية بسهام في الرسوم البيانية؛ وعلى اليمين توجد صور للتوزعات الدوامية على البلورات BSCCO حُصل عليها بفضل وسم السطح بجسيمات مغنطيسية ناعمة آثرت الالتصاق بالقرب من خطوط التدفق المغنطيسي عند كل دوامة. (أخذت صور الزخرفة من العمل الوارد في المرجع 36).

المختلطة. يُولد الحقل المغنطيسي خطوط تدفق في المادة، وينْقلُ كلُ خطٍ بالضبط وحدةً واحدة من التدفق المغنطيسي، وهي كمّ التدفق $\phi_0 \equiv hc/2e$ الذي يتحدد بالشحنة الكلية 2e لأزواج كوبر. ويُحدَّد قطر كل خطٍ تدفقي بواسطة طولٍ مُميّز، يدعى طول الاختراق المغنطيسي، ويُرمز لهً بـ λ. وبوجه أعم، λ هو المقاس الطولي الذي يمكن للحقل المغنطيسي في ناقل فائق أن يتغير ضمنه. وبجوار منتصف كل خط تدفقي تتخامد سعة التابع الموجي، |ψ|، لزوج كوبر حتى الصفر. وتسمى المنطقة التي تتخامد فيها السعة

بسمى «اللُبّ الدوّامي vortox core» و له نصف قطر يساوي طول الترابط ξ، وهو الطول الأساسي الثاني المميِّز للناقل الفائق. ففي أكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة، يكون ξ، الواقع في المجال [illegible] في درجات الحرارة المنخفضة، أصغر بكثير من عمق الاختراق، λ، الذي يتجاوز 1000Å [3]. أما في النمط II للنواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة الحرجة، فيكون ξ عادة أكبر بكثير. تُعدُّ النسبة $K = \lambda/\xi$ وسيطاً هاماً غير ذي أبعاد. ففي نظرية جينزبورغ ـ لاندوا، تشير القيمة $K = 1/\sqrt{2}$ إلى الحدود الفاصلة بين مواد النمط الأول ومواد النمط الثاني. وهكذا تُعدُّ أكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة، T_c ذات القيم العالية جداً لِ K، نوقاً فائقة من النمط الثاني متطرفة. وسنحصر اهتمامنا هنا بالنواقل الفائقة من النمط الثاني، التي تنتقل إلى الحالة المختلطة عندما يخترق المادة حقل مغنطيسي.

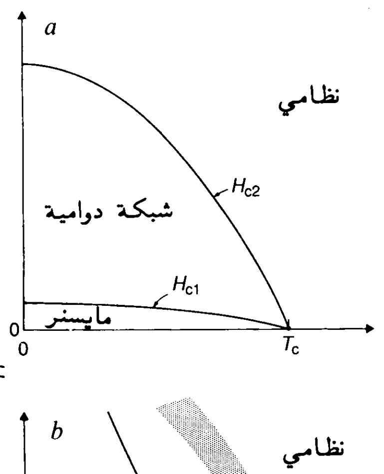
خلال دورة كاملة حول لبّ الدوامة، يتبدل (يلتف) طور التابع الموجي بمقدار 2π. وينعكس هذا التبدل الطوري على هيئة تيارات كهربائية (تيارات فائقة) تسيل حول الدوّامة، حاجبةً الحقل المغنطيسي وحاصرةً إيّاه ضمن مسافةٍ λ عن لبّ الدوامة. وعلى عكس الدوامات في السوائل العادية، تكون الدوّامِّية في دوامةِ ناقلٍ فائقٍ مكممة؛ أي يجب أن يكون التغير الطوري حوْل الدوّامة مضاعفات صحيحة من 2π لأن التابع الموجي ψ أحادي القيمة. وبسبب هذا التكميم، تكون دوّامة الناقلية الفائقة مستقرة توبولوجياً، ولا يمكن لخط الدوّامة أن ينتهي ضمن الناقل الفائق.

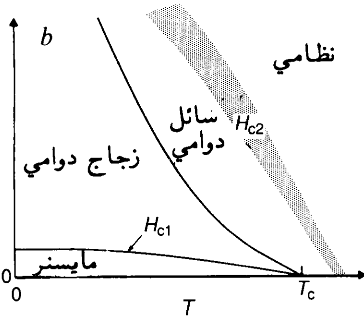
أوضح أبريكوسوف Abrikosov [4] طبيعة الدوامة أو خطوط التدفق وتنبأ بأنه عند وضع ناقل فائق من النمط الثاني ضمن حقلٍ مغنطيسي شدته أعلى من القيمة الحرجة الدنيا H_{c1}، فعلى الدوامات التي تخترق المادة أن تشكل شبكة منتظمة. لقد تم إثبات هذا التنبؤ بعد عقد من الزمن [5] بتجارب زخرفة مغنطيسية magnetic decoration التي أظهرت ترتيباً مثلثياً لخطوط التدفق، وهو ما دعي بشبكة ابريكوسوف الدوامية (الشكل 2) وإذا ما أُهملت التأرجحات الحرارية تُظهر شبكة أبريكوسوف الدوامية نوعين من الترتيب البعيد المدى، بالرغم من أن ايّاً منهما، وكما سنرى، ليس قوياً بما يكفي كي يقاوم العيوب والتأرجحات في المواد الحقيقية. وأكثر النوعين وضوحاً هو ذو التعالقات الانسحابية والتوجيهية بعيدة المدى الموجودة في الترتيب الدوّامي ذاته، المشابهة مباشرة للتعالقات البلورية في الجسم الصلب. أما النوع الثاني من الترتيب البعيد المدى فهو أكثر براعة: يُرتّب طور التابع الموجي، ϕ، وفق نموذج فضائي غير عادي، معبراً عن الشبكة الدوّامية المبينة أدناه. ويتشابه ترابط الطور البعيد المدى هذا مع ترتيب المغنطة الحديدية المعاكسة في المواد المغنطيسية، التي تظهر فيها السبينات الالكترونية ترتيباً ذا بنية فضائية دورية (انظر الشكل 2).

وإذا ما زادت شدة الحقل المغنطيسي في الشبكة الدوامية، تصبح الدوامات أكثر تقارباً فيما بينها وتبدأ ألبابها بالتراكب. وعند الشدة الحرجة العليا للحقل يتلاشى كل من الشبكة الدوامية وتزاوج الإلكترونات، وتصبح المادة عادية. وباهمال التأرجحات الحرارية تكون شدة الحقلِ الحرجة العليا $H_{C2} = \phi_0 / (2\pi \xi^2)$، وبالتالي فإن أطوالاً ترابطية قصيرة تقود إلى شدات حقول حرجة علوية كبيرة. أمّا من أجل النواقل الفائقة من أكاسيد النحاس ذوات درجات الحرارة الحرجة T_C العالية وعند درجات حرارة منخفضة فلا بد وأن تقود أطوال الترابط القصيرة إلى حقول حرجة علوية تتجاوز 100 تسلا، أي أكبر من الحقول المتوفرة في مغانط اليوم. يُظهر الشكل 3a، مخططاً طورياً كاملاً لناقل فائق من النمط II، حصل عليه من معالجة نظرية جينزبورغ ـ لانداو بحقل وسطي، وذلك من أجل قيمة خاصة لـ K. كما توجد مخططات طورية مماثلة جيدة كمياً من أجل نواقل فائقة من النمط II صافية تقريباً وذات درجة حرارة حرجة منخفضة. إلاّ أن التارجحات الحرارية وعيوب العينة، التي أُسقطت من الحساب حين استنتاج الشكل 3a، يمكن أن تغير كثيراً من هذا المخطط الطوري [7].

التأرجحات الحرارية

تلعب التأرجحات الحرارية عادة دوراً ثانوياً في حالة النواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة الحرجة، في حين تكون التأرجحات الحرارية ذات شأن أكبر





الشكل 3- (a)، مخطط طوري لناقل فائق من النمط II، تم فيه تجاهل التأرجحات الحرارية والعيوب المادية، كتابع لدرجة الحرارة، T، ولحقل مغنطيسي مطبق، H. يعد هذا المخطط الطوري، من وجهة نظر وصفية، صحيحاً لغالبية النواقل الفائقة من النمط II منخفضة درجة الحرارة الحرجة.
(b)، مخطط طوري بياني لناقل فائق من النمط II مع تأرجحات حرارية قوية، كما في أكاسيد النحاس cuprates عالية درجة الحرارة الحرجة. وفي غياب عيوب المادة كان من الممكن أن يكون الطور المرتب المنخفض درجة الحرارة في حقل مغنطيسي أعلى من H_{C1} شبكة دوامية إنما العيوب الدائمة الوجود تعدم استقرار الشبكة الدوامية، ناقلة إياها إلى الطور الزجاجي الدوامي، كما هو مبين. والتحول عند H_{C2} في (a) حصل توسيعه هنا بفعل التأرجحات وغدا مجرد عبور تدريجي من معدن طبيعي إلى سائل دوامي، أشير إليه بالمنطقة المظلّلة.

فهو أكثر انخفاضاً في حالة المواد عالية درجة الحرارة الحرجة حيث تكون أطوال الترابط صغيرة وأطوال الاختراق كبيرة. إن طول الترابط، ξ، هو تقريباً من قياس أزواج كوبر المربوطة من الإلكترونات، التي تكون أصغر بكثير في النواقل الفائقة لأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة. والسبب هو أن درجات الحرارة أعلى والطاقات اللازمة لإحداث الدوامات وتحريكها تكون أدنى. إن المقاس الطاقي المناسب هو الذي يلزم لخلق قطعة من خط دوامة طولها يساوي طول ترابطي واحد [7]. وهذا المقاس الطاقي يتغير كتغير ξ/λ^2، وبالتالي

الاختراق كبيرة. إن طول الترابط، ξ، هو تقريباً من قياس أزواج كوبر المربوطة من الإلكترونات، التي تكون أصغر بكثير في المواد عالية درجة الحرارة الحرجة، وتعبّر أطوال الاختراق الكبيرة عن نواقل فائقة ضعيفة بسبب الكثافة المنخفضة نسبياً للأزواج الإلكترونية المتحركة.

لقد اكتُشفت الآثار الأكثر لفتاً للنظر للتأرجحات الحرارية المعزّزة في النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة الحرجة عند وجود حقل مغنطيسي مطبق. يوضح الشكل 3b المخطط الطوري لناقل فائق من النمط الثاني مع تأرجحات حرارية قوية. لنلاحظ نظام السائل الدوامي فيما بين الحقل الحرج العلوي لحقل وسطي، $H_{C2}(T)$، والطور الزجاجيَ الدوامي. فبالتبريد في حقل مغنطيسي، تبدأ الإلكترونات بالتزاوج وتتشكل الدوامات في تابع موجه الزوج الإلكتروني بجوار القيمة H_{C2}، غير أن الدوامات لاتتجمد إلاّ عند درجات حرارة منخفضة بشكل محسوس. لقد لوحظ وجود نظام سائل دوامي حقيقي في حالة أفلام فائقة الناقلية [8، 9]، بينما لم يلاحظ وجوده في النواقل الفائقة الكتلية إلاّ بعد أن درست النواقل الفائقة لأكاسيد النحاس [10, 11]. تكون الدوامات في السائل الدوامي متحركةً ولها تعالقات قصيرة المدى منحسرةٌ في مواقعها، تشبه كثيراً الذرات في السائل العادي. يمتد نظام السائل الدوامي إلى درجات الحرارة المنخفضة بخاصة في المواد ذات الطبقات اللامتناحية بشدة (مثل BSCCO) عند توجيه الحقل المغنطيسي عمودياً على الطبقات [12, 13]. في هذه الحالة، تتكون الخطوط الدوامية في الواقع من أوتار من دوامات نقطية أو قُرصية في كل طبقة فائقة الناقلية، مع تعالقات ضعيفة نوعاً ما بين الدوامات في طبقات مختلفة. وهكذا فإن وجود نظام سائل دوامي على نطاق واسع يُفسّر معطيات المقاومية لـ BSCCO المبينة في الشكل 1 بصورة طبيعية.

إن السائل الدوامي هو المماثل الطبيعي، لطور المغنطة المسايرة المضطرب، الذي يحصل في المواد المغنطيسية المسخنة لدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة كوري (أو نيل). و في المغانط المسايرة، لا

يملك السائل الدوامي أي ترتيب بعيد المدى: تقود حركة الدوامة إلى خلط طور تابع موجة الزوج الإلكتروني، معطلة بذلك أية إمكانية ترابط طوري بعيد المدى ومخربة الناقلية الفائقة. ويجب التأكيد على أن السائل الدوامي في الواقع ليس طوراً متميزاً تتطوّر خواصه برفق وباستمرار لدى تزايد الحقل أو درجة الحرارة بدءاً من H_{C2} وحتى الحالة العادية.

المقاومية

أي الأطوار في المخططات الطورية (الشكل 3) هو حقاً فائق النقل، وله مقاومة معدومة؟ على الرغم من أن المقاومة الصفرية هي الخاصة المُميِّزة للناقل الفائق من عدة أوجه، إلا أنها في بعض النواحي، الأصعب على التفسير. يعود الجزء الحاسم من المقاومة لحركة الخطوط الدوامية، التي تُسبب التبدد وبالتالي المقاومية. ففي ناقل فائق يجري التيار الكهربائي الموضعي في الاتجاه الذي يتزايد فيه الطور ϕ وتكون كثافة التيار J متناسبة مع معدل زيادة الطور ϕ في هذا الاتجاه: $J \propto \nabla\phi$. يؤثر هذا التيار بقوة ماغنوس Magnus على الخط الدوَامِيّ، دافعاً إياه نحو داخل التيار (هناك مفعول شديد الشبه بذلك يعطي صفيحة هوائية رقيقة دفعاً نحو الأعلى عندما ينفخ الريح عبرها). إن التغير الكلي في الطور ϕ عند عبور مادة فائقة الناقلية من أحد جانبي خط الدوامة يختلف بمقدار 2π عن التغير الذي نجده عند العبور من لجانب الآخر. وعند تحرك خطوط الدوامة عبر المادة إستجابة لقوة ماغنوس فإنها تتحرك باتجاه يُخفِّض التغير الكلي للطور وبالتالي يُخفِّض (يُبدِّد) التيار. وللحفاظ على تيار ثابت، يجب الحفاظ على فرق الكمون (وبالتالي على الحقل الكهربائي E) عبر المدة. يعمل فرق الكمون على زيادة فرق الطور عبر المادة، معادلاً بذلك النقص العائد لحركة الخطوط الدواميّة، وبالتالي يحافظ على تيار مستقر. في طور مايسنر ($H_{C1} > H$) يُطرد الحقل المغنطيسي من المادة ولاتوجد خطوط دوامية حرّة لتتحرك وتسبب المقاومية. ولذا فطور مايسنر هو طور فائق الناقلية حقاً وذو مقاومة خطية صفرية $\rho_1 \equiv \lim_{J \to 0} \{E/J\} = 0$. علماً أن ρ_1 هي المقاومية الأومية التي تقيس الاستجابة الخطية لتيار أو لحقل مطبق. وكما سنرى لاحقاً هناك بعض المقاومية اللاخطية، حتى في طور مايسنر: لابد من من الحاجة لحقل كهربائي غير صفري للحفاظ على أية كثافة تيار غير صفرية داخل المادة، وبالتالي فإن المقاومية اللاخطية $\rho \equiv E/J$ لاتختفي إلا عندما تتناهى كثافة التيار إلى الصفر.

وفي ناقل فائق بالحالة المختلطة ($H > H_{C1}$)، توجد خطوط دوامية، تحرَضت بالحقل المغنطيسي المُخترق. وتؤدي حركات هذه الخطوط إلى المقاومية. وفي نظام السائل الدوامي تكون الخطوط الدوامية متحركة بسبب التأرجحات الحرارية ولو بدون تيار، ويمكنها بذلك أن تتحرك متجاوبة مع التيار، ومسببة مقاومية لاصفرية. ولكن ماذا عن هذه الخطوط في طور شبكة أبريكوسوف الدوامية؟ قد يكون الجواب مدهشاً، ففي مادة نظيفة تماماً ومثالية يكون مجمل الشبكة الدوَامية حراً للتحرك استجابة للتيار، ومسبباً أيضاً مقاومية لاصفرية. وبالتالي، ففي ناقل فائق مثالي لا يكون طور شبكة ابريكوسوف الدوَامية في الحقيقة فائق الناقلية. ورغم ذلك، غالباً ما تملك المواد الحقيقية عيوباً بنيوية وكيميائية (أوساخاً) ويمكن لهذه أن تعيق حركة الشبكة الدوامية [14]. فبوجود حقل مغنطيسي نافذ، وإذا ما أردنا الإجابة عن السؤال المطروح في العنوان، لابد لنا من أخذ الدور الذي يلعبه الوسخ بعين الاعتبار.

الوسخ والطور الزجاجي الدوَامي

منذ أكثر من عشرين سنة مضت، اثبت لاركين Larkin [15] أن العيوب المادية تدمر الترتيب البلَوري البعيد المدى لشبكة ابريكوسوف الدوامية، إذ يوجد تنافس بين أثرين (مفعولين): فالتأثيرات المتبادلة بين الخطوط الدوَامية تُدعِّم البنية الشبكية، في حين تسعى العيوب المادية المتوضعة عشوائياً إلى تثبيت الخطوط عند مواقع عشوائية، مُمزقةً بذلك بنية الشبكة. وقد بيَّن لاركين أن التثبيت الدوامي العشوائي بعد مقاس طوليّ مُميِّز، l_L، يسيطر ويُدمِّر الطور الشبكيَ الدوامي. ورغم أن قدّ مناطق البلورات المكروية l_L يمكن أن يكون طويلاً جداً في حالة التثبيت الضعيف، فإن التعالقات الشبكية (الموضعية) البعيدة المدى تتخرب إلى مسافات تفوق l_L.

تؤكد النظرية التقليدية لحركة الدوامة، المبنية على أفكار نشأت في بداية الستينيات عند أندرسون

Anderson وكيم Kim [14 ,16 ,17]، أنه يمكن لحزم محدودة finite bundles لقطع من خطوط دوّامية ذات طول وقطر من مرتبة l_L، أن تتحرك بفعل التنشيط الحراري عبر منظر أخّاذ من حواجز طاقية حرّة ناجمة عن التثبيت. تهمل في هذا التقريب التأثيرات المتبادلة ما بين الحزم الدوامية. ونظراً لكون الحزم محدودة، فإن للحواجز ارتفاعاً أعظمياً محدوداً، U. وإن من شأن الحركة المستقلة للحزم الدوامية التي يفرضها التيار المطبق أن تدمّر الترابط الطوري للتابع الموجي للزوج. وتقود إلى مقاومية محدودة ذات صيغة منشّطة حرارياً (صيغة أرينيوس Arrhenius): $\rho_l \sim \exp(-U/k_BT)$. وهكذا تم التنبؤ بأن السلوك الجهري للدوامات في الحالة المختلطة هو نفس سلوك السائل الدواميّ المتثاقل جداً (كجريان الدبس البارد خلال إسفنجة). وحسب هذه النظرية، لاتكون النواقل الفائقة في حقل مغنطيسي فائقة الناقلية بالفعل، إلاّ عند درجة الصفر المطلق. ومع ذلك فإن هذا الاستنتاج، من أجل أغراض عملية، غالباً ما يكون غير ذي أهمية فيما يخص النواقل الفائقة التقليدية: أي إن U/k_BT تكون كبيرة لدرجة أن ρ_l تُصبح صغيرة لا يمكن قياسها إلاّ في الجوار القريب جداً من الخط H_{C2}.

أما من أجل النواقل الفائقة لأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة من ناحية أخرى، فإن U/k_BT غير كبيرة وهذا يستلزم إعادة اعتبار المسألة من جديد، خاصة في ضوء القياسات التجريبية الجديدة (كتلك المعروضة في الشكل 1 مثلاً). لقد قمنا حديثاً بتحري سيناريو مختلف [7 ,18] عن ذاك الذي تخيّله أندرسون وكيم. وبيّنا أنه بالتبريد، يعاني السائل ذو الخطوط الدوامية المتفاعلة مع مواقع التثبيت العشوائية تحولاً طورياً ترموديناميكياً حاداً إلى طور فائق الناقلية حقيقي مع دوّامات غير متحركة وبالتالي مقاومية صفرية بالمعنى التام. وفي هذا الطور الفائق الناقلية تتجمد الدوّامات وفق تشكيل توفيقيّ نوعي العينة، تتحدد تفصيلاته بفعل التنافس بين تفاعلات الدوامات فيما بينها وتفاعلاتها مع الشوائب المجهرية في المادة. وبسبب جمود الدوامات، يملك الطور في تابع الموجة الزوجي ترتيباً بعيد المدى حقيقياً، رغم ما يبديه المخطط العشوائي الذي يعكس بالتفصيل المواقع الدقيقة للدوامات المجمّدة. إن الترتيب الموجود في هذا الطور الفائق الناقلية يماثل مباشرة الترتيب المغنطيسي الذي يحصل في بعض السبائك المغنطيسية العشوائية، المسمّاة بالزجاجيات السبينية (أنظر الشكل 2). ففي الزجاجيات السبينية [2]، تتجمد المحاور السبينية للالكترونات زمنياً، ولكنها بدلاً من أن تنتظم على استقامة واحدة كما في المغانط الحديدية، أو وفق نموذج دوري فضائي كما في المغانط الحديدية المعاكسة، تتوجه هذه المحاور السبينية وفق ترتيب نوعي العينة تُحدّده التفصيلات المجهرية للمادة. وبسبب هذا التشابه، سمي الطور الفائق الناقلية الجديد بـ «الزجاج الدوامي Vortex glass» [19].

وعلى نقيض طور مايسنر، يوجد الطور الزجاجي الدوامي الفائق الناقلية في المواد غير النقية فقط. ولقد بيّنا بأنه يمكن للنواقل الفائقة في حقل مغنطيسي نافذ أن تكون بالفعل فائقة الناقلية فقط عندما تكون ملوثة. وأن التثبيت العشوائي الموجود إلى حد ما في أية مادة حقيقية، مهما كانت دقة تحضيرها، يعدم استقرار الطور الشبكي الدوامي (الذي لم يكن فائق الناقلية بالفعل) ويحوله إلى الطور الزجاجي الدوامي الفائق الناقلية.

وبرأينا، فإن الخلل الأساسي في نظريات الحركة الدوامية المُنَشَّطة حرارياً والمبنية على أعمال أندرسون وكيم {14 ,16 ,17] هو أنها تفترض وجود حركة مستقلة لحزم محدودة من قطع الخط الدواميّ. لكن، وكما أشرنا أعلاه، لا يمكن لخطٍ دواميّ أن ينتهي في ناقل فائق، لذا فإن الخطوط الدوامية مجبرة على البقاء متصلة في الوقت الذي تتحرك فيه قطعها. وأثبتنا أنه عند درجات الحرارة المنخفضة يظل هذا الاجبار (التقييد) سارياً وأن التأثيرات المتبادلة بين الخطوط الدوامية (التي تمتد بعيداً إلى مسافات من مرتبة طول الاختراق، λ) لايمكن إهمالها، حتى لمسافات طولية أبعد من القدّ الشبكي المجهري l_L. تسبب هذه التأثيرات المتبادلة تعالقات طورية يمكنها في درجات حرارة كافية الانخفاض أن تنتشر اعتباطياً إلى مسافات طويلة، منتجة ترتيباً بعيد المدى للطور الزجاجي الدوامي.

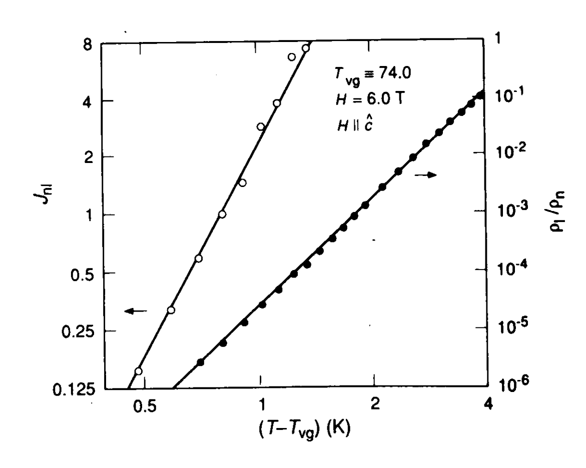
سنأخذ الآن بالاعتبار بعض التنبؤات الرئيسية لنظرية الطور الزجاجي الدوامي وإثباتاتها التجريبية.

لقد جاء الدليل على وجود الطور الزجاجي الدوامي من تجارب النقل التي أجريت على النواقل الفائقة لأكاسيـــد النحاس، خلال السنوات القليلة الماضية [20 - 24].

التحول ذو الطور الزجاجي الدوامي

إن الأسلوب الناجع لتمييز طور فائق الناقلية حقاً، بمقاومية معدومة تماماً، عن سائل دوامي بمقاومة صغيرة لدرجة يتعذر قياسها لكنها غير معدومة، هو البحث عن تحول طوري أثناء انخفاض درجة الحرارة. فإذا ما وجد الطور الزجاجي الدوامي الفائق الناقلية، فينبغي أن يحدث تحول طوري ترموديناميكي حاد يفصله عن السائل الدوامي (غير الفائق الناقلية). قد يكون هذا التحول الطوري من المرتبة الأولى، حيث ستقفز المقاومية في هذه الحالة إلى الصفر بشكل متقطّع وستكون خواص أخرى غير مستمرة عند التحول الطوري، أو قد يكون التحول الطوري هذا مستمراً (من المرتبة الثانية). وفي الحالة الأخيرة، التي يبدو أنه تم الحصول عليها في عينـــات من $YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO) ذات تثبيت عشوائي شدته كافية، يمكن أن نتوقع سلوكاً تدريجياً حرجاً عاماً universal critical scaling behaviour عند درجات حرارة قريبة من درجة حرارة تحول الطور الزجاجي الدوامي، T_{vg}.

يحصل السلوك التدريجي الحرج في جميع التحولات الطورية المستمرة [25] ويمكن عزوه إلى وجود طول مميّز يتغير عند التحول. ففي ما يعلو التحول الزجاجي الدوامي، يكون الطول المقصود، ξ_{vg}، المقاس الطولي الذي ضمنه يكون طور التابع الموجي الزوجي متعالقاً (مع أنه في نموذج عشوائي). وكما في غالبية التحولات الطورية المستمرة، يمكن للمرء، أن يتوقع تباعداً في طول الترابط تبعاً لقانون قوة، كلما اقتربنا من درجة حرارة التحول: حيث $\xi_{vg} \sim |T - T_{vg}|^{-\upsilon}$ مُمَيَّز بالأسّ الحرج υ. ويمكن أيضاً توقُّع تباطؤ حرج للديناميكيات بجوار التحول الطوري، المستمر مع زمن استرخاء، τ، متباعـــد تبعـــاً لقوة ξ_{vg}، $\tau \sim \xi_{vg}^{z} \sim |T - T_{vg}|^{-z\upsilon}$، حيث z الأسّ الحرج انديناميكي. وهذا الزمن، بالتقريب، هو الزمن الذي يحتاجه تأرجح ذو قدّ ξ_{vg} للاسترخاء. تتنبأ نظرية مجموعات إعادة الاستنظام [25] في ظواهر حرجة بجوار التحولات الطورية المستمرة بأن الأُسّات الحرجة هي أرقام عامة تميز نمط التحول إنما تكون غير حساسة للتفاصيل المجهرية، كما هي في المادة. إضافة لذلك، يمكن للمرء أن يتوقع بأن هناك قوانين تدرج عامة يمكنها ربط القياسات في الدرجات المختلفة للحرارة بجوار التحول، شريطة أن تقاس كل كمية فيزيائية بأسّ مناسب للمقدار $(T - T_{vg})$. سنركّز بشكل خاصٍ على التبدّد dissipation كتابع للتيار المطبق: أي منحنيات التيار بدلالة التوتر. وكمثال على قانون التدريج [7] نتوقع تلاشي المقاومية الخطية، $\rho \sim (T - T_{vg})^s$، عندما نقترب نحو التحول من الأعلى، حيث $s = \upsilon(z-1)$. لقد لوحظ قانون القوة هذا مع قيمة للأس $s \approx 6.5$ من أجل عينة من YBCO ضمن مجال من درجات الحرارة تهبط فيه المقاومية بأكثر من أربع مراتب [21] (الشكل4).



الشكل 4- التدريج في النظام الحرج الزجاجي الدوامي في بلّورة YBCO ضمن حقل مغنطيسي شدته 6 تسلا، مطبق موازياً للمحاور c للمادة (أي عمودياً على مستويات CuO_2). أخذت المعطيات من المرجع 21. تمثل الدوائر المصمتة قيم المقاومية الخطية، ρ_l، مقسومة على المقاومية في الحالة العادية، ρ_n، ومرسومة وفق سلّم لوغاريتمي بدلالة الفرق بين درجة الحرارة، T، وبين تلك التي يحصل عندها التحول الطوري الزجاجي الدوامي، $T_{vg} = 74K$. ويعطي ميل الخط الذي تحدده الدوائر المصمتة قيمة الأُسّ الحـــــــــرج $S = \upsilon(z-1) \sim 6.5$. أما الدوائر البيضاء فتشير إلى قيم كثافة التيار، J_{nl} (بواحدات اختيارية)، من أجل البداية اللاخطية في المقاومية. ويعطي الميل هنا القيمة $4 \sim 2\upsilon$.

وعند درجات من الحرارة تقع في الجوار العلوي القريب من الدرجة T_{vg}، تتمتع حالة السائل الدوامي بطول ترابطي طويل جداً ξ_{vg}. لكن هذه التعالقات يمكن أن تتعطل بفعل حركة الخط الدوامي التي تسببها بالذات كثافة التيار المطبق J الضعيفة، وهكذا تكون المقاومة اللاخطية $\rho(J) = E/J$ حساسة جداً لقيمة J عند درجات حرارة قريبة من T_{vg}. ومن المهم تعريف مقياس متميز لكثافة التيار J_{nl}. على أنه التيار الذي تتعطل عنده بشكل ملحوظ حالة السائل الدوامي. وتحديداً، عندما تكون $T > T_{vg}$ نختار J_{nl} كتيار تتضاعف من أجله المقاومة اللاخطيـــــــــــة: $\rho(J_{nl}) = 2\rho_l$. لقد تنبأنا في [7] أن اضمحلال J_{nl} يكون متناسباً مع مقلوب مربع طـــــــــــول الترابـــط، $J_{nl} \sim \xi_{vg}^{-2} \sim (T - T_{vg})^{2\upsilon}$، فقد قادت قياسات غاميل ومساعديه .Gammel et al على YBCO إلى الأس $2\upsilon \approx 4$ (الشكـــل4). إن هذا الهبوط السريع لـ J_{nl} عندما تقترب T نحو T_{vg} من الأعلى هو النتيجة التجريبية المتناقضة بصورة لافتة للنظر مع النظريات التقليدية [17, 16, 14] للحركة الدوامية المنشطة حرارياً. تفترض هذه النظريات أن طول التعالق هو تقريباً طول العبور اللاركيني larkin's crossover length l_L، لذا فهي لم تتنبأ بأي تبعية حرارية قوية لـ l_L في هذا النظام. وهكذا أخفقت الطريقة التقليدية إذن عند درجات حرارة وكثافات تيار منخفضة إلى حدٍ يكفي لأن يكون طول الترابط، ξ_{vg}، أكبر من قدّ المناطق البلورية المجهرية l_L.

بالاضافة إلى التنبؤ بسلوكيات قانون القوة هذه، تتنبأ نظرية التدرج بأن تابعية الحقل الكهربائي لكثافة التيار ستكون نفسها من أجل أية درجة حرارة مجاورة لـ T_{vg} إنما فوقها شريطة أن يكون التبدّد معايراً بالمقاومية الخطية وتكون كثافة التيار معايرة بالكثافة J_{nl}

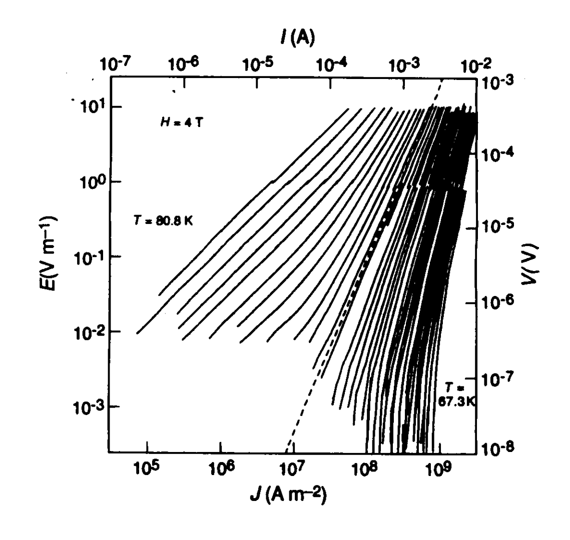
$$\frac{\rho(J)}{\rho_l} \equiv \frac{E}{J\rho_l} \approx \Re_+\left(\frac{J}{J_{nl}}\right) \qquad (1)$$

حيث $\Re_+(J)$ هو تابع تدريج عام مع $\Re_+(J \to o) = 1$، ومن التعريف الذي ورد أعلاه لـ J_{nl}، فإن $\Re_+(1) = 2$. وكلما انخفضت T نحو T_{vg} عند قيمة ثابتة لـ J، يتباعد كل من $\rho(J)/\rho_l$ و J/J_{nl}. وكي يكون لـ E و$\rho(J)$ سلوك جيد عند T_{vg}، يجب على تابع التدريج في المعادلة (1) أن يسلك سلوك $\Re_+(J) \sim J^{(z-1)/2}$ من أجل قيم كبيرة لـ J. ثم عند T_{vg} نجد أن $\rho(J) \sim J^{(z-1)/2}$ أو $E \sim J^{(z+1)/2}$، وهي علاقة قانون قوة بين التوتر والتيار. أظهرت منحنيات التيار بدلالة التوتر (I -V) لYBCO، التي قاسها كوش ومساعدوه .Koch et al [20]، الخصائص العامة للتحول ذي الطور المستمـــــــر (الشكل5). يشير الخط المتقطع إلى سلوك قانون القوة عند T_{vg}. ومن أجل $T > T_{vg}$ و $J << J_{nl}$، لوحظ وجود سلوك أوميّ مع $E \approx \rho_l J$، في حين أنه من أجل تيارات أشد تصبح اللاخطية محسوسة ويتناقص كل مـــــــن ρ_l و J_{nl} باستمرار أثناء اقتراب T من T_{vg} من الأعلى. إن قيم الأُسَات الحرجة المستخلصة من التجــــربتين [20 و21] الموصوفتين أعلاه تتوافق جيداً، رغم اختلاف العينات وكثافات التيار المدروسة. علاوة على ذلك، أظهرت محاكيات حاسوبية حديثة [26, 27] لنموذج فائق الناقلية دليلاً على التحوّل ذي الطور الزجاجي الدوامي مع أُسَات حرجة مماثلة.

مقاومةٌ لا أومية

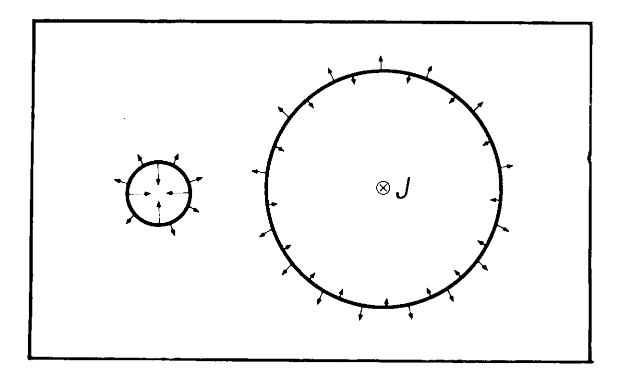
يوجد مباشرة تحت التحول الزجاجي الدوامي عند T_{vg} سلوك تدرّجي [7] يشابه العلاقة (1)، مع مقياس متميز للتيار J_{nl}. بيد أن السلوك لايكون أومياً من أجل $J << J_{nl}$ ؛ وعلى الأصح، كلما تناقص التيار يتلاشى التوتر بأسرع من أي قوة للتيار، كما هو مبين من الانحاء نحو ميلانات شديدة جداً عند أسفل ويمين الشكل 5. يُعزى هذا النظام التبددي لحركةٍ دواميةٍ في الطور الزجاجي الدوامي المرتب. ولفهم ذلك، دعنا نتأمل أولاً آليات التبدُد المشابهة في طور مايسنر الأكثر بساطةً.

لايوجد في طور مايسنر دوّامات حرة ($H<H_{C1}$)، إنما تحصل تلقائياً وعند درجات حرارة مخالفة للصفر، تأرجحات حرارية مُحدثة على نحو نموذجي إثارات موضعية ذات طاقة حرة من مرتبة الطاقة الحرارية، k_BT. إن نمطاً واحداً من الإثارة الحاصلة والذي بامكانه أن يؤدي إلى تبدد في تيار ما هو عبارة عن حلقات دوامية مغلقة ذات محيط محدود [28] (الشكل 6). وتكون الطاقة الحرة، $f_v(R)$، لحلقة دوامية دائرية ذات نصف قطر R متناسبة تقريباً مع محيطها، $f_v(R) \approx 2\pi R\varepsilon$، حيث ε هي الطاقة الحرة



الشكـل 5- منحنيات الكمون بدلالة التيار عند درجات حرارة ثابتة من أجل فيلم نضيد (منضـود) epitaxial film سمكه 0.4 µ m من YBCO ضمن حقل مغنطيسي، شدته 4 تسلا، مطبق موازياً لمحاور المادة c (عمودياً على مستويات طبقة CuO_2). تختلف المنحنيات المتجاورة عن بعضها بمجالات من درجة الحرارة يساوي الواحد منها 0.3 K تقريباً وقد أشير على الشكل إلى درجة الحرارة العليا والدنيا. رسمت المنحنيات وفق سلالم لوغاريتمية، وأشير أيضاً إلى كثافات التيار J والحقول الكهربائية. يشير المستقيم المنقط إلى درجة حرارة التحول الزجاجي الدوامي عند $T_{vg} \approx 77$ K وحيث $E \sim J^{(z+1)/2}$ مع $z \approx 4.8 \pm 0.2$. وفي درجات الحرارة لأعلى من T_{vg} عند كثافات تيار منخفضـــة تكون $E \sim J$، دالة على خاصة السلوكية الأومية لمعدن عادي أو سائل دومي. وما دون T_{vg}، يصبح ميل المنحنيات أشد وأشد عند التيترات المنخفضة موحياً بتبدد أسّي صغير كما هو متوقع من أجل الطور الزجاجي الدوامي. أخذت البيانات من المـــرجع 20. لقد تم قياس المنحنيات على دفعتين منفصلتين حتى E ≈ 1V m⁻¹ للأولى ومن ثم حتى E ≈ 10 Vm⁻¹ للثانية. وتعود الانكسارات بين مجموعتي المنحنيات عنـــد= E≈ 1Vm⁻¹ للتسخين المقاوم في الدفعة الثانية.

بواحدة الطول أو بشكل مكافيء، توتّر خطّ الدوامة. إن احتمال بولتزمان لهذه الحلقة، الذي يبدو كتأرجح حراري تلقائي عند درجة حرارة T، هو عنـــدئذ $\exp[-f_v(R)/k_BT]$. وهو الاحتمال الذي تُحدث به التأرجحات الحرارية العشوائية في الوقت ذاته قوىً تطبق على الحلقة باتجاه الخارج ذات شدة وسطية واستمرارية كافيتين لبلوغ الحلقة هذا القدّ. وفي غياب أي تيار مطبق فستنكمش على الأرجح مثل هذه الحلقة الدوامية بسرعة إستجابة لقوة موجودة دائماً تتجه نحو الداخل قيمتها ε/R بواحدة الطول تنشأ من توتر خطها وانحنائه. لنفترض، من ناحية ثانية، أنه توجد كثافة تيار منتظمة J مارة عبر الحلقة. فيمكن حينئذ لقوة ماغنوس المتجهة نحو الخارج والناجمة عن هذا التيار أن توازن القوة المتجهة نحو الداخل الناجمة عن توتر الخط الدوامي (الشكل 6) وأن تحدث حلقات ذات أنصاف أقطار أكبر من قدّ حرج $R_C(J) \approx \varepsilon/J$ مما يؤدي إلى توسع غير محدود؛ أي تحدثُ الحركة الدوامية الناتجة تبدداً [28]. (إن عملية تجمع نوى الحلقات الدوامية بنصف قطر أكبر من نصف القطر الحرج $R_C(J)$، مشابهة لعملية تشكل نوى (تجمّع) جرمي لقطيرات سائل في بخار فوق مشبع، ويلعب التيار المطبق دور درجة فوق الاشباع و R_C دور نصف قطر القطيرة الحرج) ويكون



الشكـل 6- تمثل الدائرتان ثخينتا المحيط إثارات حلقية دوامية مغلقة في طور مايسنر. وتشير السهام المتجهة إلى الداخل إلى القوة المطبقة على الحلقة والعائدة لتوتّر (شدّ) خطّ الدوامة؛ تتناسب سعة هذه القوة مع تقوس الحلقة. وبوجود كثافة تيار مارة عبر الحلقة (عمودية على سطح الحلقة) هناك أيضاً قوة ماغنوس المطبقة على الحلقة نحو الخارج والعائدة لتفاعل الحلقة مع هذا التيار (لو كان التيار معكوساً لتشكلت قوة نحو الداخل). إن الحلقة اليسارية أصغر من نصف القطر الحرج وبالتالي فالقوة نحو الداخل أكبر فتسعى الحلقة للانكماش. أما الحلقة اليمنى فهي أكبر من نصف القطر الحرج وبالتالي فالقوة نحو الخارج هي المهيمنة وتسعى لتوسيعٍ مستمر للحلقة، مساهمة بذلك في تبديد التيار.

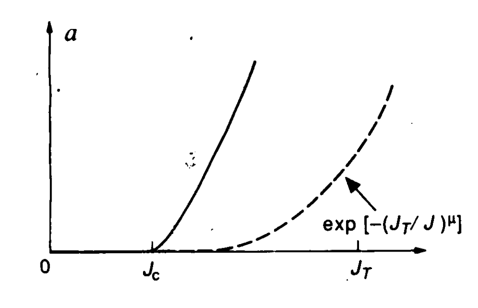
معدل التبدد في طور مايسنر متناسباً مع احتمال تجمّع نوى الحلقات الكبيرة، بقــــدرِ كـــافٍ $\exp[-f_V(R_C(J))/2k_BT]$، معطية من أجل كثافة تيار صغير J

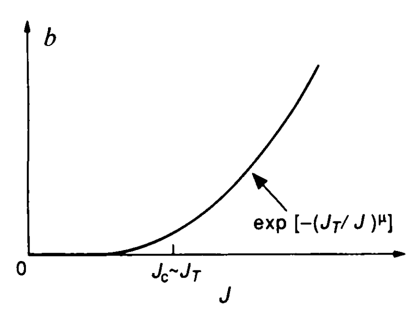
$$E/J = \rho(J) \approx \exp[-(J_T/J)^{\mu}] \quad (2)$$

حيث $\mu = 1$ و $J_T \approx \varepsilon^2/k_BT$ تحدد مقياس (تدرج) التيار لهذا التبدد المنشّط حرارياً. وهكذا فالتبدد موجود باستمرار، حتى في طور مايسنر لكنه عند كثافات تيار صغيرة ينشأ بفعل تأرجحات حرارية كبيرة نادرة ويتلاشى أسيّاً من أجل $J \to 0$.

كيف يتوافق ذلك مع المفهوم التقليدي للتيار الحرج في النواقل الفائقة؟ من أجل كثافات تيار صغيرة، يتغير الحاجز الطاقي الحر، الواجب اجتيازه لإنتاج حلقة دواميّة، كتغير $J^{-\mu}$. ولكن هذا الحاجز يصبح من مرتبة k_BT عند التيار الحرج J_C ويطبق قـانـون التبـدد المُنشّـط حـراريـاً، الـذي تحـــدده العـــلاقة (2)، عندئذ فقط من أجل $J < J_C$؛ أما من أجل $J > J_C$ فتنتج الدوامات بيسر، مؤدية إلى تبدد شديد. وفي النواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة الحرجة، تكون $J_C << J_T$ عدا في الجوار القريب جداً من T_C، وبالتالي يكون تشكل نوى (تجمّع) الحلقات نادراً جداً من أجل $J < J_C$. وبالتالي يمكن أن نجد تزايداً مفاجئاً وحاداً في التبدد عند J_C (الشكل 7a). أما في الجوار المباشر لـ T_C في النواقل الفائقة التقليدية، وفي أجزاء كبيرة من المخطط الطوري لأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة، من ناحية أخرى، تكون J_C وJ_T متقارنتين وبالتالي يكون ابتداء التبدد أبطأ في تدرّجه، مع تيارٍ حرجٍ صعب التحديد (الشكل 7b).

في الطور الزجاجي الدوامي، حيث يقوم العديد من الدوامات باختراق العينة، يحصل سلوك تبدديّ مماثل كيفياً، علماً أن التفاصيل أكثر غموضاً بكثير ولم تُفهم تماماً حتى الآن. وليس واضحاً بعد ما هي الصفة الدقيقة لترتيبات الخط الدوامي المسيطرة التي تؤدي إلى تبدد لاخطّي في الطور الزجاجي الدوامي؛ ولقد تم تحليل العديد من الاقتراحات في هذا الصدد [31, 29, 7]. ومع ذلك تكبر في كل من عمليات التبدد المقترحة، حواجز الطاقة الحرة، التي يجب إجتيازها





الشكل 7- يمثل الشكل توضيحاً بيانياً للحقل الكهربائي E بدلالة كثافة التيار J في طور فائق الناقلية بالفعل (طور مايسنر أو الطور الزجاجي الدوامي). (a)، في حالة التأرجحات الحرارية الضعيفة حيث $J_C << J_T$ يكون الحقل الكهربائي من أجل $J_C > J$ صغيراً. يمثل الخط المنقط استقراءاً خارجياً للسلوك المنشط في المجال $J_C > J$ و $J_C < J$. في الجوار المباشر لـ J_C، رغم ذلك، تتلاشى الحواجز التنشيطية لحركة دوامية وتحدث زيادة سريعة في التبدد، مما يقود إلى نشوء تيار حرج بيّن ظاهرياً. وجد هذا السلوك في النواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة الحرجة. (b)، حالة التأرجحات القوية، حيث تتقارب J_C و J_T وتكون بداية التبدد أقل حدة في تزايدها. وجد هذا السلوك في النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة الحرجة (باستثناء درجات الحرارة الأخفض بكثير من T_C حيث يكون السلوك أكثر تماثلاً مع الحالة (a)).

لاحداث الترتيبات الجديدة الدوامية، كتابع قوة لقدّ المنطقة المعاد ترتيبها، تماماً كما في طور مايسنر. وإذا طبق تيار عبر الناقل الفائق، فإنه سيحدث انتاج منشط حرارياً لمثل هذه الترتيبات المعادة أكبر من القدّ الحرج $R_C(J)$. وهذا سيسبب انخفاضاً طورياً ومن ثم تبدداً كما في طور مايسنر مؤدياً من جديد إلى مقاومة للتيار المنخفـــض من الشكـــــل $E/J \approx \exp[-(J_T/J)^{\mu}]$، لكنها هنا بأسٍ $0 < \mu \leqslant 1$

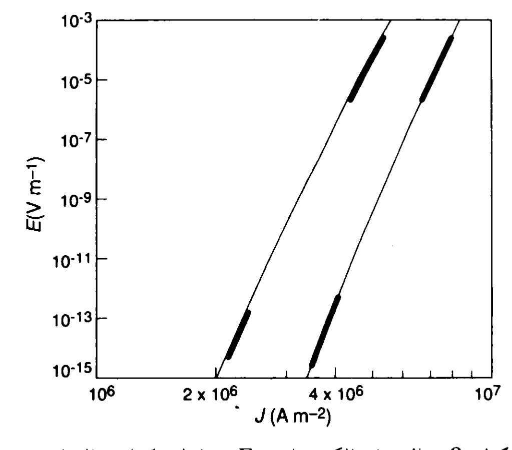
تحدده طبيعة عمليات التبدد. يطلق على مثل هذه الحركة الدوامية المُنشطة حرارياً بالزحف الدوّامي (أو التدفقي). وكما في طور مايسنر، يمكن لتيار كافي الشدة أن يجتاز الحواجز الطاقية الحرة نحو حركة دوامية، مسبباً تدفقاً دوامياً وتبدداً سريعاً: يحدث ذلك فوق كثافة التيار الحرجة J_C. وهكذا نستنتج أن طور مايسنر والطور الزجاجي الدوامي كليهما ناقلان فائقان خطيان بمقاومية لا تنعدم إلا عند حدّ الاستجابة الخطية لكثافة تيار معدومة. أما من أجل أي كثافة تيار غير معدومة، فإن المقاومة لا تكون معدومة بسبب الحركة الدوامية المنشطة حرارياً، مع أنها تتلاشى كتابع أسّي لكثافة التيار، J، من أجل $J \to o$.

وبسبب التوترات الصغيرة جداً التي تحصل في النظم المُنشط، يكون القياس المباشر للسلوك في العلاقة (2) والتحديد التجريبي للأُسّ μ صعباً. تقود القياسات الحديثة [20, 23, 24] في الطور الزجاجي الدوامي، مع ذلك، إلى ملاءمات (توافقات) معقولة للعلاقة (2) مع قيم لـ μ أقل من 1/2.

هناك سبيل آخر لدراسة التبدد اللاخطي في الطور الزجاجي الدوامي من خلال استرخاء المغنطة عند درجات الحرارة المنخفضة. ففي تجربة نموذجية تبرد العينة في حقل مغنطيسي حتى تصل إلى الطور الزجاجي الدوامي، ومن ثم نبدل فجأة شدة الحقل. يُثير هذا التبدل تيار حجب غير مستقر، $J(t)$، يتضاءل إلى الصفر أثناء دخول الخطوط الدوامية في المادة أو خروجها منها وتتحرك هذه الخطوط نحو تشكيلها المتوازن الجديد. يعطي الاضمحلال البطيء لهذا التيار، الذي يمكن قياسه من خلال التمغنط المرافق، بالعلاقة $dJ(t)/dt \propto E(J)$، حيث $E(J)$ هو الحقل الكهربائي اللازم لإبقاء التيار J في حالة مستقرة. وتكون dJ/dt في النواقل الفائقة التقليدية (والنواقل الفائقة لأكاسيد النحاس عند درجات الحرارة المنخفضة جداً) صغيرة من أجل $J > J_C$ لدرجة أن كثافة التيار لا تنخفض مطلقاً إلى حدّ أدنى كثيراً من J_C، حتى خلال عام كامل. أما بالتأرجحات القوية في النواقل الفائقة لأكاسيد النحاس، فيمكن للتيار على نقيض ذلك أن يتضاءل أسرع من ذلك بكثير، كما أن الشكل المتوقع لـ $E(J)$ في العلاقة (2) يؤدي إلى اضمحلال كاضمحلال $J(t) \approx J_T[\ln (t/t_o)]^{-1/\mu}$ خلال أزمنة طويلة جداً، حيث t_o زمن مجهري من مرتبة 10^{-12} - 10^{-9} ثانية. أعطت هذه التقنية ساندفولد sandvold وروسل Rossel [23] حساسية فولتية أفضل بعشر مراتب تقريباً من قياسات النقل التقليدية، تقابل حقولاً كهربائية منخفضة حتى حوالي 10^{-14} Vcm^{-1}. يبين الشكل 8 استنتاجهما لتغيرات الحقل الكهربائي بدلالة كثافة التيار $E(J)$. وقد وجدا تلاؤماً جيداً مع العلاقة (2) في أفلام YBCO مع $\mu \approx 1/3$. وهذا يتفق مع قياسات النقل إضافة إلى ذلك تعطي هذه التجارب دليلاً قوياً على أن المقاومة تتلاشى بأسرع من أي شدة للتيار في الطور الزجاجي الدوّامي.

الاستنتاجات

رأينا أن المفعولين المشتركين للتأرجحات الحرارية والشوائب يقودان إلى مخططات طورية وخصائص نقل للنواقل الفائقة لأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة



الشكل 8- الحقل الكهربائي E بدلالة كثافة التيار، حيث تقاس J وفق سلم لوغاريتمي، وذلك من أجل فيلم منضود من YBCO سمكه 0.2 ميكرومتر مُنمّـىً على $SrTiO_3$ [23] (100). الحقلان المغنطيسيان المطبقان هما: 0.3 تسلا على اليسار و 0.1 تسلا على اليمين وعند الدرجة 70 كلفن، أي في الطور الزجاجي الدوامي. تنحصر البيانات في الأقسام الثخينة من المنحنيين؛ فعند قيم E العالية تم قياس الحقل الكهربائي مباشرة، في حين يستدل على قيم E المنخفضة جداً من الاضمحلال البطيء مع الزمن للتيارات الدوارة في المادة. وأشير إلى التلاؤم مع العلاقة (2) بالقيمة $\mu = 0.34$ بواسطة الخطوط النحيلة.

الحرجة في حقل مغنطيسي مختلفة جذرياً عن تلك للنواقل الفائقة من النمط II منخفضة درجة الحرارة الحرجة، فإذا تم تبريد ناقل فائق تقليدي من النمط II في حقل مغنطيسي أعلى من H_{C1}، تصبح المقاومية صغيرة على نحو مفاجيء يصعب قياسها عندما يُقطع الخط H_{C2} كما في الشكل 3a. وفي تباين مذهل بسبب التأرجحات الحرارية القوية في مواد أكاسيد النحاس، لا يوجد خط محدد لـ H_{C2} بل هناك فقط تزاوج تدريجي للإلكترونات وفق أزواج كوبر مسببة تشكيلاً من خطوطٍ دواميّة (الشكل 3b). وفي نظام السائل الدوّامي غير الفائق الناقلية الناتج، يُرافق انخفاض درجة الحرارة ازدياد معاوقة الشوائب للحركة الدوّامية وبالتالي تتناقص المقاومية. ويستمر ذلك إلى حين حدوث تحول الطور الزجاجي الدوامي. $T_{vg}(H)$، حيث تتلاشى أخيراً المقاومية الأومية الخطية. وعلى مقربة من T_{vg}، وجد سلوك تدريجي scaling behaviour لمنحنيات التيار فولت، معطياً الدليل الأفضل على حدوث تحولٍ طوريٍ حقيقي. وفي الطور الزجاجي الدوامي يخضَع تبددُ التيار الضعيف لهيمنة التنشيط الحراري الناجم عن إعادة تنظيمات دوامية جماعية كبيرة والتي تسبب مقاومة تتلاشى أُسياً مع التيار عند التيارات الضعيفة. وعند درجات الحرارة المنخفضة جداً، يكون التبدد المُنشط حرارياً صغيراً جداً، وتُظهر منحنيات التيار فولت بداية حادة واضحة للتبدد عند التيار الحرج، مع مقاومة صغيرة يصعب قياسها بشكل مباشر عند تيارات دنيا؛ وهذا النظام مشابه للنواقل الفائقة منخفضة درجة الحرارة الحرجة.

رغم التجارب النوعية، والكمية في بعض النواحي، المتوافقة مع العرض النظري المقدم هنا، يبقى العديد من المسائل والنظم الجديدة موضوعاً للدراسة والتحرّي. ويشمل هذا الموضوع تبعية T_{vg} وسلالم التيار J_T والتيار الحرج J_C للمادة ونوعها وتوزع العيوب، وأحد هذه الحدود المثيرة للاهتمام هو ما يتعلق بالعيوب القليلة جداً (حدّ النظافة). زيادة على ذلك، لم تتم بدقة دراسة التبدد اللاخطي في الحالة المختلطة في أي مادة لامتناحية بشدة وشبه ثنائية البعد مثل BSCCO أو في الأفلام الرقيقة المعزولة الفائقة الناقلية والثنائية البعد حقاً. يتوقع أن تكون هذه الأفلام فائقة النقل حقاً من أجل حقل مغنطيسي معدوم أو عند درجة حرارة معدومة، بغياب الطور الزجاجي الدوامي عند درجة حرارة غير معدومة[22]. هذا وإن المسار الهام الآخر للدراسة هو تقصي النواقل الفائقة ذات البنية الصنعية، المصنوعة بواسطة تقانات الصناعة المكروية مثل التنضيد بالحزم الجزيئية molecular beam epitaxy حيث يمكن تغيير خواص البنية بشكل منظوم ومستمر، مثل إدخال طبقات غير فائقة الناقلية بسماكات مختلفة.

أخيراً، يجب علينا الاجابة مباشرة عن السؤال المطروح في العنوان. ويرجع الفضل في ذلك إلى التجارب التي أجريت على النواقل الفائقة لأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة الحرجة، وإلى الأفكار النظرية الجديدة. فالجواب الذي كان يعتقد أنه «لا، النواقل الفائقة في الحالة المختلطة ليست فائقة النقل فعلاً؛ إنما مقاومتها صغيرة جداً» هو في الحقيقة، «نعم، إنها فائقة النقل بالفعل عند درجات حرارة أدنى من تلك التي يحدث عندها التحول الطوري نحو الطور الزجاجي الدوامي».

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *Nature* للسماح لها بترجمة هذا المقال ونشره.

المراجع

REFERENCES

[1] *Superconductivity*, Vols 1 & 2 (ed. Parks, R. B.) (Dekker, New York, 1969).

[2] Edwards, S. F. & Anderson, P. W. *J. Phys.* F5,965-974 (1975).

[3] Batlogg, B. in *Physics* of High-Temperature Superconductors (eds Maekawa, S. & Satto, M.) 228 (Springer, Berlin, 1992).

[4] Abrikosov, A. A. *Zh.* eksp. teor. *Fiz.* **32**, 1442-1452 (1957), (Engl. transl.) Sov. *Phys. JETP* **5**, 1174-1182 (1957).

[5] Trauble, H. & Essman, U. J. appl. *Phys.* **39**, 4052-4059 (1968).

[6] Moore, M. A. *Phys. Rev.* B **45**, 7336-7345 (1992).

[7] Fisher, D. S., Fisher. M. P. A. & Huse, D. A. *Phys. Rev.* B43, 130-159 (1991).

[8] Huberman, B. A. & Doniach. S. *Phys. Rev.* Lett. **43**, 950-952 (1979).

[9] Fisher, D. S. *Phys. Rev.* B22, 1190-1199 (1980).

[10] Gammel, P. L., Schneemeyer, L. F.,

Waszczak, J. V. & Bishop, D. J. *Phys. Rev.* Lett. **61**, 1666-1669 (1988).

[11] Nelson, D. R. & Seung, H, S. *Phys Rev.* B**39**, 9153-9174 (1989).

[12] Houghton, A., Pelcovits, R. A. & Sudbϕ, A. *Phys. Rev.* B**40**, 6763-6770 (1989).

[13] Brandt, E. H. *Phys. Rev.* Lett. **63**, 1106-1109 (1989).

[14] Anderson, P. W. & Kim, Y. B. *Rev. mod. Phys*. **36**, 39-43 (1964).

[15] Larkin, A. l. *Zh. eksp.* teor. Fiz. **58**, 1466-1470 (1970), (Engl. transl.) *Sov. Phys. JETP* **31**, 784-786 (1970).

[16] Kes, P. H., Aarts, J., van den Berg, J., van der Beek, C. J. & Mydosh, J. A. Supercond. *Sci. Technol.* **1**, 242-248 (1989).

[17] Brandt, E. H. *Int. J* mod. *Phys*. B**5**, 751-795 (1991).

[18] Fisher, M. P. A. *Phys. Rev.* Lett **62**, 1415-1418 (1989).

[19] Shih. W. Y., Ebner, C. & Stroud, D. *Phys. Rev.* B**30**, 134-144 (1984).

[20] Koch, R. H. et al. *Phys. Rev.* Lett. **63**, 1511-1514 (1989).

[21] Gammel, P. L., Schneemeyer, L. F. & Bishop, D. *J. Phys. Rev.* Lett **66**, 953-956 (1991).

[22] Worthington, T. K. et al. *Phys. Rev.* B**43**, 10538-10543 (1991).

[23] Sandvold, E. & Rossel, C. *Physica* C**190**, 309-315 (1992).

[24] Dekker, C., Eidelloth, W. & Koch, R. H. *Phys. Rev.* Lett. **68**, 3347-3350 (1992).

[25] E. g., Fisher, M. E. *Rev. mod. Phys.* **46**, 597-616 (1974).

[26] Reger, J. D., Tokuyosu, T. A., Young, A. P. & Fisher, M. P. A. *Phys. Rev.* B**44**, 7147-7150 (1991).

[27] Gingras, M. J. P. *Phys. Rev.* B**45**, 7547-7550 (1992).

[28] Langer, J. S. & Fisher, M. E. *Phys. Rev.* Lett.**19**, 560-563 (1967).

[29] Feigl'man, M. V., Geshkenbein, V. B., Larkin, A. I. & Vinokur, V. M. *Phys. Rev.* Lett. **63**, 2303-2306 (1989).

[30] Fischer, K. H. & Nattermann, T. *Phys. Rev.* B**43**, 10372-10382 (1991).

[31] Bouchaud, J. P., Mézard, M. & Yedidia, J. S. *Phys Rev.* Lett **67**, 3840-3843 (1991).

[32] Fisher, M. P. A., Tokuyasu, T. A. & Young, A. P. *Phys. Rev.* Lett. **66**, 2931-2934 (1991).

[33] Wilson, M. N. *Superconducting Magnets*, 99 (Oxford Univ. Press, 1983).

[34] Palstra, T. T. M., Batlogg, B., Schneemeyer, L. F. & Waszczak, J. V. *Phys. Rev.* Lett. **61**,1662-1665 (1988).

[35] Safar, H., Gammel, P. L., Bishop, D. J., Mitzi, D. B. & Kapitulnik, A. *Phys. Rev.* Lett. **68**, 2672-2675 (1992).

[36] Grier, D. G. et al. *Phys. Rev.* Lett. **66**, 2270-2273 (1991).

Key Words	**الكلمات المفتاح**
1- coherence length	طول الترابط
2- cooper pairs	أزواج كوبر
3- long-range order	ترتيب بعيد المدى
4- magnetic penetration length	طول التغلغل المغنطيسي
5- Magnus force	قوة ماغنوس
6- Meissner phase	طور مايسنر
7- scaling behaviour	سلوك تدريجي
8- spin glass	زجاج سبيني
9- vortex glass phase	طور زجاجي دوّامي
10- vortex creep	زحف دوامي

انعكاسية أشعة X*

ج . ج . بيناتار
باحث في جناح فيزياء الحالة الصلبة في مركز ساكلي للدراسات ـ فرنسا

ملخص

تستخدم منذ بضع سنوات أشعة X، الوسيلة التقليدية لدراسة البلورات، لإلقاء نظرة جديدة على السطوح والسطوح البينية. إن انعكاس أشعة X في الواقع حساس جداً لتفاصيل البنية ولعيوب السطوح على مقاييس بضعة أنغسترومات. يُبيّن المؤلف كيف أن هذه الطريقة قد سمحت بتقدم حاسم في فهم سطوح السوائل والأجسام الصلبة والأفلام الرقيقة. إذ أنها تدخل في أساس أجهزة تجارية صُنعت حديثاً جداً مخصصة إما للبحث أو لصناعة الطبقات الرقيقة في الضوئيات أو في الإلكترونيات المكروية.

إن تآكل المعدن ومقاومة سطح زجاجي للخدش أو نوعية مرآة، كل ذلك يتعلق بشكل أساسي بحالة السطح. وهذه الظواهر المتوضعة في المناطق الرقيقة للغاية، التي هي السطوح والسطوح البينية بين أوساط مختلفة أو الأفلام الرقيقة أيضاً، ما تزال خفية من أوجه عديدة. نلاحظ فيها بالفعل تغيرات محلية في الخشانة وفي الثخانة أو في التركيب الكيميائي على مقاييس من رتبة النانومتر. وهكذا من أجل فهم أفضل للسطوح والسطوح البينية، ظهرت احتياجات جديدة للتمييز وأحدثت تطور تقنيات متنوعة. من بين جميع هذه التقنيات، يشهد الآن التحليل بواسطة أشعة X، المنعكسة على السطح المدروس بورود ضعيف جداً يدعى بالورود المماسي، ازدهاراً هاماً. يقع مجال رصده في منتصف الطريق بين مجال تلك الأداة الحديثة جداً، التي هي المجهر ذو المفعول النفقي، ومجال تلك التقنية المجرَّبة منذ سنوات عدة خلت وهو المجهر الإلكتروني. إن الفصل بالمجهر ذي المفعول النفقي هو من مرتبة عشر النانومتر، وهذا ما يسمح برؤية الذرات منفردة على سطح البلورة (انظر «المجهر ذو المفعول النفقي «Le microscope à effet tunnel في مجلة La recherche تشرين الأول 1986). إن هذه الكفاءات، وإن كانت رائعة، هي بالغة التكلفة للذي يرغب في اختبار سطح أو سطح بيني وتشوهاتهما بمقياس كبير.

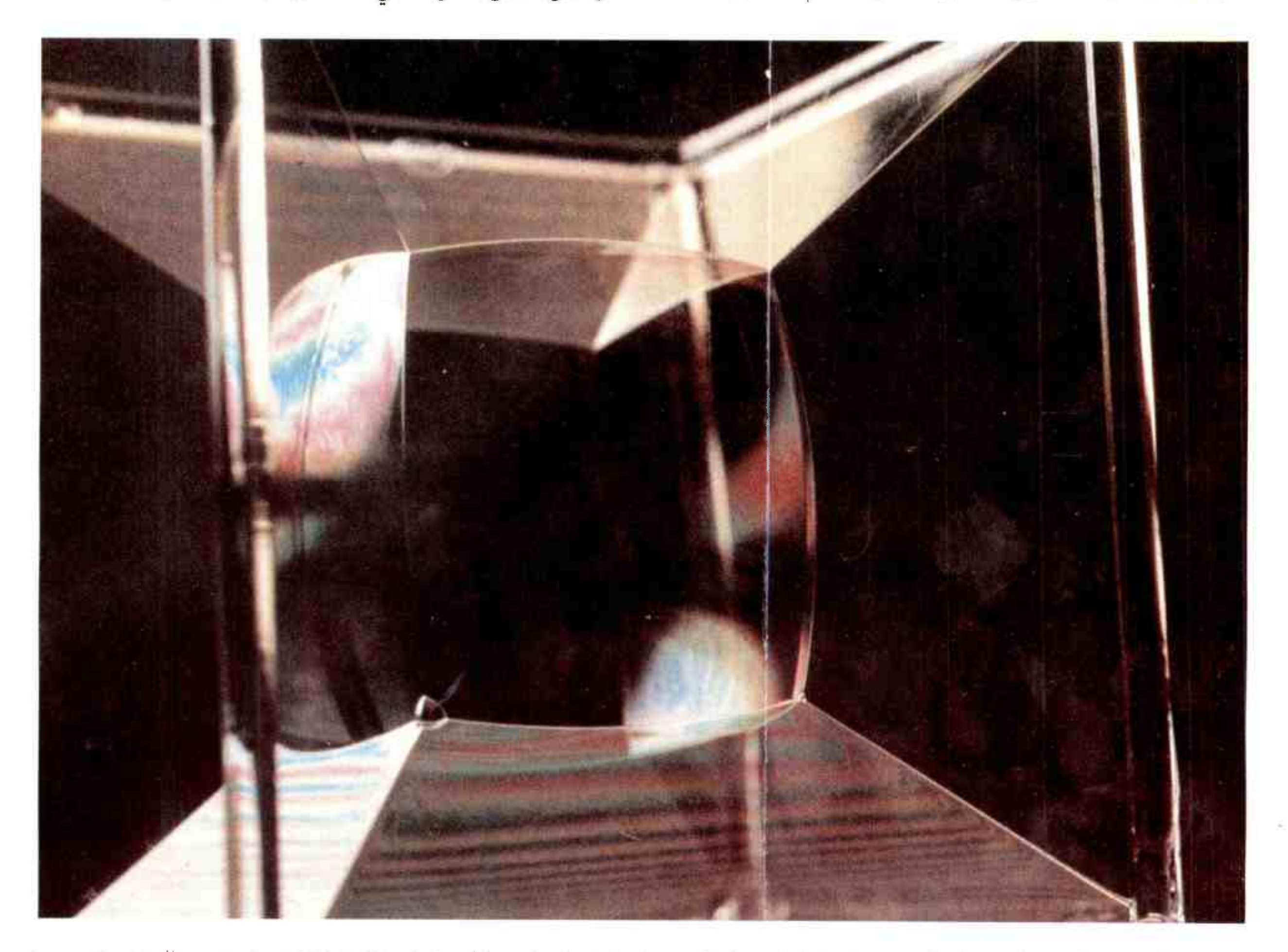
يصل المجهر الإلكتروني التقليدي إلى فصل يساوي حوالي نانومتر واحد، لكنه ليس حساساً بشكل كافٍ لتفاصيل السطوح.

إذا كانت دراسة بنية المواد بأشعة X التي اكتشفت في عام 1895 من قبل ف. رونتجن W. Roñtgen، قد رأت النور في بداية هذا القرن مع التجارب الأولى على البلورات ل ف. فريدريك W. Friedrich و ب. كنيبينغ P. Knipping و م. ڤون لاوه M. Von Laue في ألمانيا، إلا أن استخدام انعكاس أشعة X على السطوح لا يعود إلا إلى سنوات 1950. بالإضافة إلى ذلك، عرفت هذه التقنية انطلاقة جديدة في العقد الأخير. إن أشعة X، التي هي في الحقيقة كالضوء، أمواج كهرطيسية، لكن طول موجتها أصغر بكثير (يقع في المجال بين 0.005 و 10 nm) ملائمة لقياس الثخانات الصغيرة من رتبة طول موجتها ولتحري البنى الرقيقة جداً والتي تقوم بدور متزايدٍ في التقانة الدقيقة. لنذكر في الإلكترونيات المكروية، مراقبة طبقات المعدن أو الأكسيد المتوضع على السيليسيوم في مختلف المركبات، وفي الضوئيات، التحقق من نوعية الطبقات العازلة كهربائياً والمتوضعة على ركائز زجاجية من أجل تصنيع مرايا بنوعية عالية الجودة. في هذه الطبقات الناتجة بالسحق أو بالتبخير الحراري أو أيضاً من خلال تفاعل كيميائي، لابد وأن

* هذا المقال منشور في مجلة *La recherche*, Vol. 23, N°244, Juin, 1992 . ترجمه الدكتور موسى الابراهيم ـ قسم الكيمياء ـ هيئة الطاقة الذرية السورية.
وراجعه الدكتور توفيق قسّام ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية في هيئة الطاقة الذرية السورية.

يكون في متناول أيدينا وسيلة لفحص تجانس هذا التوضع وتراصه أو أيضاً خشونته. أصبحت الانعكاسية أيضاً واحدة من الوسائل المميزة للكيمياء الفيزيائية وذلك لأنها ساهمت بعدد لا بأس به من الدراسات: بنى المعادن السائلة والطبقات المعدنية والسوائل العضوية والطبقات العضوية وانتشار قطرات البلورات السائلة والبوليمرات (انظر أيضاً مقال «من القطرة إلى التجعيد: التبليل بأشعة X: «De la goutte à la crepe le mouillage aux rayons X في مجلة La recherche كانون الثاني 1990). سنوضح هذه التقنية من خلال وصف تجارب حديثة أجريت على جملتين: الطبقات الأحادية لجزيئات أمفيفيلية amphiphiles (أي جزيئات لها جزء قطبي له ألفة تجاه الماء وينجذب نحوه وجزء لا قطبي) على سطح الماء والتي تدعى أيضاً طبقات لانغمير Langmuir والأفلام «السوداء» وهي الحالات النهائية لأفلام الصابون (الشكل 1) بعد سيلان الماء.

في الواقع إن إنعكاس أشعة X بورود مماسي يضع تحت تصرف الباحثين طريقتين متجاورتين وغالباً تتمم إحداهما الأخرى: «الانعكاسية» أي قياس الشدة المنعكسة بالصورة الاعتيادية على السطح و «الإنعراج السطحي» أي انعكاس الأشعة المنعرجة على السطح. يظهر الانعراج السطحي عندما تبرز من السطح بنى منتظمة كالمستويات البلورية التي تميل إلى عكس الضوء في اتجاهات مفضلة ليست هي اتجاهات الانعكاس العادي. وهذا الفعل، الذي تلزم لملاحظته شدات تشعيع بأشعة X أقوى من الشدات المستخدمة في حالة الانعكاس العادي ينسب إلى طرائق علم البلورات التقليدي. ولكن قبل كل شيء، على أية مبادىء تستند



الشكل 1- أثارت أفلام الصابون فضول العلماء منذ قرون. إن فيلم الصابون الذي نراه هنا عبارة عن نوع من السندويش يحوي طبقة من الماء محاطة بطبقتين متناظرتين من جزيئات الصابون. يسيل الماء شيئاً فشيئاً مخلفاً فيلماً تزداد رقته أكثر فأكثر وقد دُرِسَت البنية بأشعة X.

انعكاسية أشعة X ؟ لقد اعتُقد، ولفترة طويلة، بعد المحاولات الأولى التي أجراها رونتجن لإحداث انحراف حزمة أو انعكاسها، بأن أشعة X تنتشر بدقة تامة وفق خط مستقيم مهما تكن المادة المعبورة. لقد بدت هذه الملاحظات وكأنها تؤدي بنا إلى استنتاج أن قرينة الانكسار يجب أن تكون مساوية إلى الواحد. في الحقيقة، إن قرينة الانكسار بالنسبة لأشعة X لاتساوي 1 تماماً إذ أنها في الواقع غير بعيدة عنه: والفارق في حدود الواحد بالمليون فقط. ورغم هذا الفارق الضعيف فإن هذه القرينة تتمتع بميزة ذات أهمية بوجه خاص إنها أقل من الواحد، على العكس من قرينة انكسار الضوء المرئي.

إن هذه القرينة الأصغر من الواحد هي في أصل خاصة رائعة، تكمن في أن الانعكاس الكلي لأشعة X على سطح كافة المواد يحصل عندما تكون زاوية الورود صغيرة جداً (نقصد عندما تكون الزاوية التي يحدثها الشعاع مع السطح ضعيفة للغاية). وهكذا فإن جميع المواد تسلك تحت ورود ضعيف سلوك المرايا لأشعة X. وهذا الانعكاس الكلي ظاهرة سهلة الملاحظة بالضوء المرئي، عندما يمر من الماء، وهو وسط ذو قرينة أعلى من الـ 1، إلى الهواء. فإذا نظر غواص ما إلى السطح فوقه بزاوية صغيرة بالكفاية لايرى شيئاً عبره، يظهر له السطح وكأنه مرآة عاكسة. وهذا هو الفعل ذاته إنما بعكس دَوْري الهواء والوسط المادي، هو ما يستخدم من أجل دراسة السطوح بأشعة X. لنشر هنا إلى أن زوايا الورود، التي يحدث من أجلها الانعكاس الكلي، هي صغيرة جداً. وتدعى أيضاً الزاوية العظمى، التي بعدها يختفي الانعكاس الكلي، بالزاوية الحرجة وهي تقدر بـ 2,7 ملّي راديان (تقريباً 0,15°) من أجل أشعة X المنعكسة على الماء، ذات الطول الموجي 1,54Å، أما من أجل المواد الثقيلة مثل الذهب فإن هذه الزاوية تزداد حتى 10 ملّي راديان (0,6°). وفي الواقع العملي، نتحرى عن مجال زاوي يقع نموذجياً بين 1 و 70 ملّي راديان (أي بين 0,05° و 4°).

كيف يعمل الباحثون ؟ إن التجربة في مبدئها سهلة للغاية، تضمن قياس الشدة المنعكسة على فيلم رقيق أو سطح بيني أو سطح عادي بدلالة زاوية الورود. وتعرّف حينئذ الانعكاسية كنسبة شدة الانعكاس إلى شدة الورود (الشكل 2A). إن المعلومات التي توفرها الانعكاسية تخص بشكل أساسي تغيرات كثافة المادة في الاتجاه العمودي على السطح العاكس، وتحت هذا السطح بالضبط، كالتشوهات السطحية أو تغيرات كثافة التركيب الكيميائي.

تحليل منحني الانعكاسية يتيح تحديد خشونة السطح المفحوص

إذا كان السطح، أو بشكل أدق السطح البيني بين الهواء والوسط تام الاستواء، فإن قوانين الضوء تدل على أن منحني الانعكاسية بدلالة زاوية الورود يتكون من عتبة انعكاس كلي تحت الزاوية الحرجة ثم بسقوط حاد للانعكاسية (الشكل 2B). يشير هذا التناقص السريع في الانعكاسية، التي تهبط من القيمة 1 إلى 10^{-7} عندما تبلغ زاوية الورود عشرين ضعفاً من الزاوية الحرجة، إلى أن جميع الظواهر التي سنهتم بها تحدث من أجل زوايا الورود الصغيرة جداً.

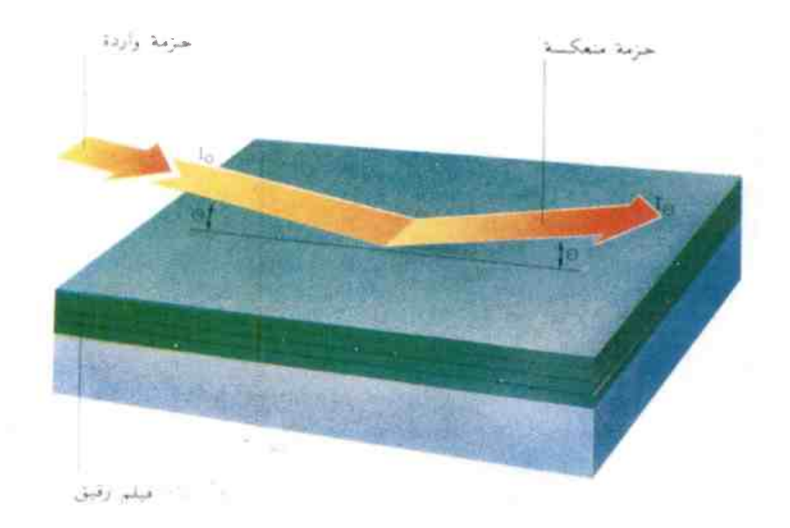
لنقارن الآن هذه التوقعات النظرية مع منحني الانعكاسية الحاصل على سطح عينة حقيقية، على سبيل المثال، قرص مصقول أحادي البلورة من السيليسيوم: نلاحظ أنه إذا تطابقت منطقة الانعكاس الكلية مع تلك التي للسطح المثالي، تصبح الشدة المقاسة أصغر بكثير من تلك التي للسطح تام الاستواء وذلك كلما ابتعدنا عن الزاوية الحرجة (الشكل 2B). إلى أي شيء يمكن أن ننسب هذا الفارق؟ في الحقيقة إن سطح السيليسيوم ليس تاماً، إنه خشن و يبدي تضاريس (نتوءات) ناجمة عن الصقل إرتفاعها الوسطي يقارب 5Å وتمتد هذه الارتفاعات والوهاد على أطوال صغيرة لا تزيد عن المكرون. ولكي نفهم لماذا تصبح تأثيرات هذه الخشونة محسوسة أكثر فأكثر عندما تزداد زاوية الورود، نتخيل بأننا ننظر إلى مرج أخضر قصّ حديثاً، فإذا نظرنا إلى هذا المرج من مستوى الأرض فإنه يظهر مثل بساط كثيف، وعلى العكس إذا نهضنا ونظرنا إليه من فوق سطح الأرض، يصبح عدم التجانس ظاهراً أكثر فأكثر. يُحسب بدقة منحني الإنعكاسية التي يعطيها سطح تام الاستواء انطلاقاً من مقدارين معروفين بوجه عام بالنسبة للمجرب، وهما زاوية الورود وقرينة انكسار المادة المعتبرة من أجل أشعة X. لا يُعلمنا هذا المنحني إذاً الشيء الكثير. وعلى العكس عندما يكون السطح غير تام الاستواء يكون المنحني مختلفاً، و يُدخِل الفيزيائيون حينئذ في معادلاتهم وسيطاً متمماً وهو حد الخشونة الذي يتيح لهم ملاءمة المنحني المحسوب مع المنحني التجريبي. إن تحديد وسيط الخشونة هذا دقيق جداً: يبلغ 0,1Å.

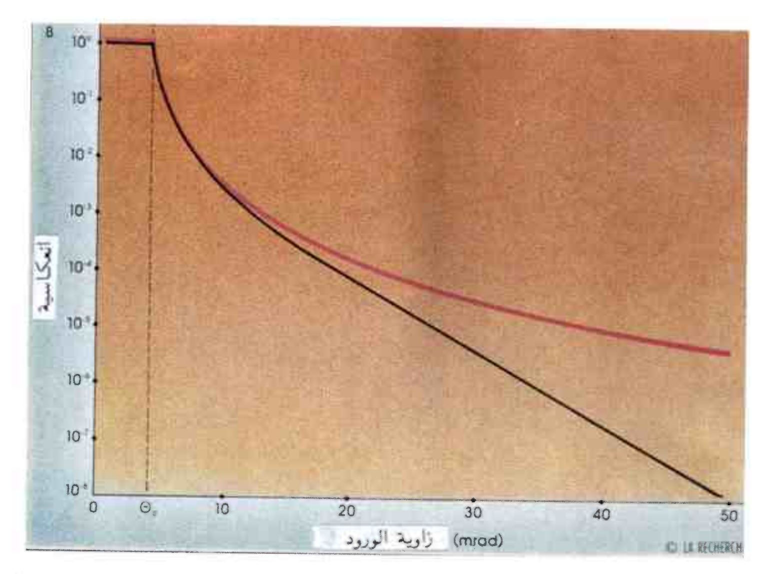
هذا وتشكل دراسة الطبقات الرقيقة تطبيقاً هاماً للانعكاسية لكن الحالة هنا تتعقدد قليلاً تتكون الطبقة الرقيقة أو الفيلم البالغ الرقة، مثل طبقة من التنغستين على السيليسيوم أو أيضاً الغشاء البيولوجي، من سطحين بينيّين يعكسان كلاهما الأشعة الواردة وبالتالي فإن منحني الانعكاسية لا يتناقص باستمرار إنما يُظهر تعرجات تَدْخُل على ظواهر التداخل. لقد كان الفيزيائي الألماني هـ. كييسيغ H. Kiessig أول من حلل عام 1930 هذه التداخلات الناتجة عن حزم أشعة X المنعكسة على السطحين البينيين وبرهن كيف تستنتج من ذلك ثخانة الفيلم، معطياً بذلك طريقة جديدة ذات دقة نادرة من أجل قياس ثخانات صغيرة جداً (أقل من 2000 Å). ومنذ ذلك الحين تدعى أشكال التداخلات هذه الناتجة عن الفيلم بأهداب كييسيغ (الشكل 2C). والأكثر من ذلك، يمكن أن تتحدد خشونة وجهي الفيلم بطريقة مشابهة لتلك التي وصفناها من أجل سطح بينيّ وحيد.

لنُعقّد المسالة قليلاً، بفرض أننا نود، بالإضافة إلى الوسيطين السابقين، الثخانة والخشونة، قياس كثافة المادة التي تحوي على سبيل المثال، لاتجانسات، يظهر منحني الانعكاسية الآن تعديلات جديدة بالنسبة إلى المنحني «الكامل» إنه غني بما فيه الكفاية من أجل إعطائنا هذه المعلومات بصورة شبه مستقلة عن المعلومات الأخرى (على سبيل المثال بقياس الزاوية الحرجة او أيضاً بإدخال وسيط نوعي في الحسابات مخصص لملاءمة المنحني النظري مع المنحني التجريبي)

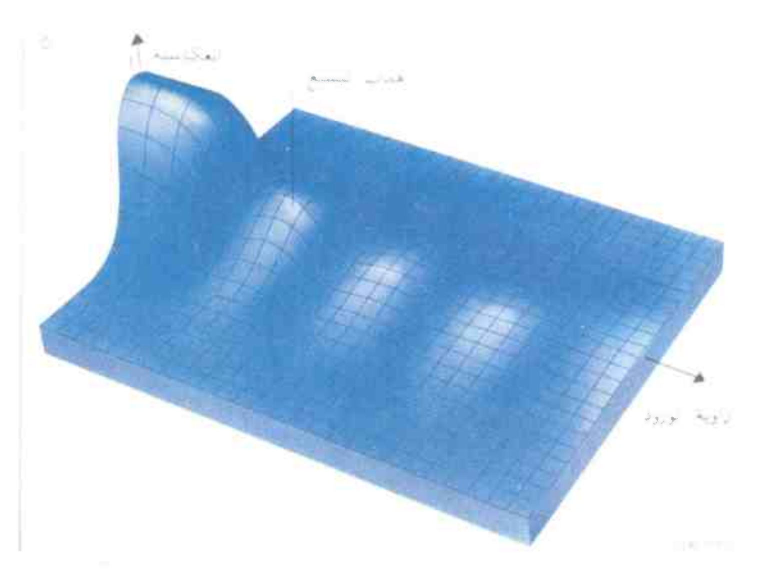
انعكاس أشعة X يعطي المنفذ إلى خصائص الطبقات المختلفة لفيلم منضد

يمكن أن نذكر جملاً أكثر تعقيداً أيضاً، تكون من أجلها انعكاسية أشعة X أفضل كثيراً من التقنيات الضوئية التقليدية: مثال الطبقات المتعددة أو الأفلام المنضدة التي تضم عدداً كبيراً من السطوح البينية والتي نصادفها في صناعة معالجة الزجاج من أجل منع الانعكاسات الضوئية أو على العكس لصنع المرايا الشديدة العكس. يُظهر منحني الانعكاسية لجملة متعددة الطبقات أشكال تداخلات معقدة جداً في أغلب الأحيان. فبالإضافة إلى أهداب كييسيغ، تظهر مجموعة أخرى من أهداب التداخل (تدعى قمم براغ Bragg) ناجمة عن تداخلات الحزم المنعكسة على السطوح البينية لمختلف التنضيدات. تعطي قمم براغ هذه السبيل إلى خصائص الطبقات (كالدورية والخشونة السطحية البينيّة والكثافة). فإذا لم نعرف كثافة الطبقات أو إذا لم تكن خشونة مختلف السطوح البينية متساوية أو أيضاً إذا لم تكن ثخانة الطبقات ثابتة يصبح تفسير منحنيات الانعكاسية أكثر تعقيداً ويتطلب أدوات رياضية نوعية. وتُعد هذه الصعوبات في التفسير سبب تأخر تطور هذه الطريقة نسبياً. وهكذا لم تُستخدم انعكاسية أشعة X عملياً ولم تُفهم نظرياً إلا منذ أعمال ل. ج. بارات L. G Paratt في جامعة كورنيل Cornell في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1954 [1]. ونحن مدينون له بوضع طريقة حساب منحنيات الانعكاسية لجملة متعددة الطبقات، والتي فتحت الطريق نحو علم قياس الانعكاسية الحديث. وبالتوازي مع بارات طوّر ف. أبيلي F. Abélès بجامعة باريس في فرنسا صيغة لِقة وفعّالة لمعالجة المسألة بأسلوب صحيح مستعملاً تقنية المصفوفات [2]. إن حسابات الانعكاسية هذه للجمل المنضدة معقدة، ومن المفضل أن تتم على الحاسب بحيث تُكيّف مختلف وسطاء النموذج النظري وفق المنحنيات التجريبية. وهكذا نفهم لماذا لم تلق الطريقة في الواقع نجاحاً إلا إبتداءً من الأعوام 1960 - 1970. وفي السبعينيات أيضاً، وضع ب. كروس P.Croce في معهد البصريات في أورسي تقنيات حساب لتحليل دقيق لتأثيرات عدم تجانس السطح والخشونات على انعكاس أشعة X وعلى ظواهر أخرى أكثر تعقيداً كالانتشار [3]. أتاحت هذه الأعمال تحقيق الدراسات الأولى الكمية. وفي نهاية السبعينيات شرع الباحثون، مُزوّدين بهذه الأدوات، التي صُمّمت من أجل السطوح أو السطوح البينيّة الصلبة، بدراسة السطوح البينيّة (سائل ـ بخار) أو (سائل ـ سائل). قام س. أ. رايس S. A. Rice من جامعة شيكاغو بالولايات المتحدة الأمريكية ومعاونوه الأوائل عام 1978 بتحديد البنية المجهرية للسطح البيني سائل ـ بخار المعادن السائلة. تنطوي دراسة السطوح السائلة على صعوبات خاصة إذ أنها بالضرورة أفقية ولا يمكن توجيهها أمام حزمة أشعة X. وبعد رايس ببضع سنوات، أنشأ ل. بوسيو L. Bosio ومعاونوه [4] في مدرسة الفيزياء والكيمياء الصناعية في باريس مقياس انعكاس بسيط للغاية يلائم السطوح السائلة بفضل تصميم منبع متحرك لأشعة X، وهكذا استكشفوا بشكل مفصّل سطح بعض المعادن السائلة. لقد حددوا على سبيل المثال المظهر العام للكثافة الإلكترونية على سطح الزئبق وأوضحوا بنيته السطحية عند عدة تنضيدات ذات كثافة مختلفة. لقد كشفت دراسة سطح الماء عام 1988، من قبل فريق ب.

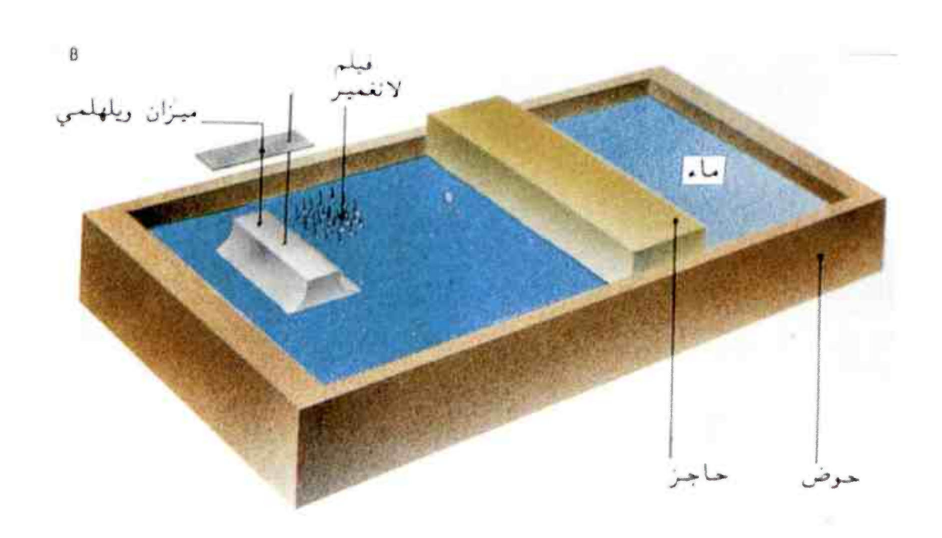




الشكل 2- انعكاسية أشعة X طريقة حساسة بشكل خاص لدراسة السطوح. نرسل حزمة أشعة X بورود مماس، أي بحيث تصنع زاوية θ صغيرة جداً مع السطح (A) ونقيس شدة الجزء المنعكس من الضوء بدلالة زاوية الورود θ. والمنحني الظاهر في (B)، باللون الأحمر يمثل الانعكاسية في حالة سطح أملس تماماً ومتجانس، أما الأسود فمن أجل سطح خشن (خشونة 6 أنغسترومات). عندما تكون زاوية الورود صغيرة، يكون الانعكاس كلياً في الحالتين ويُظهر المنحنيان عتبة. يفترق المنحنيان عن بعضهما مع تزايد زاوية الورود. ويُدْخل الباحثون في معادلاتهم وسيط الخشونة الذي يسمح لهم بملاءمة المنحني الحسابي مع المنحني التجريبي. عندما نقيس انعكاسية فيلم رقيق، نلاحظ تموجات ناجمة عن التداخلات بين الأشعة المنعكسة لوجهي الفيلم والمسماة أهداب كيسيغ (c). تسمح هذه الأهداب بتحديد ثخانة الفيلم بدقة كبيرة. يمثل المنحني بثلاثة أبعاد، حيث يُظهر البعد الثالث شكل الحزمة المنعكسة.







الشكل 3- الموجات الشعرية (A) عبارة عن مويجات ذات ارتفاع صغير جداً (بضعة أنغسترومات) تتشكل على سطح الماء تحت تأثير درجة الحرارة. يُعبَّر عنها ببعض الخشونة السطحية التي نقيسها بمساعدة انعكاسية X. يُقاس التوتر السطحي بشكل مستقل بواسطة جهاز يسمى ميزان ويلهلمي wilhelmy.

تُبدّل طبقة الجزيئات العضوية على سطح الماء (فيلم لانغمير) الموجات الشعرية وبالتالي خشونة السطح. يتبع هذا التغير بشدة حالة الجزيئات السطحية. ومن أجل دراسة هذه الظاهرة، نبعثر الجزيئات على السطح ثم نجمعها أو نفرّدها زيادة أو نقصاناً بمساعدة حاجز متحرك (B). يضغط هذا التجهيز الجزيئات ويخضعها لتغيرات طورية حقيقية تترجم بتغيرات هامة في الموجات الشعرية.

بيرشان P.Pershan من جامعة هارفارد بالولايات المتحدة الأمريكية، عن وجود خشونة مذهلة غير متوقعة تقدر بـ 3,2Å وبرهنوا بأن هذه الخشونة تنجم عن ظواهر حركية هي التحريض الحراري للموجات الشعرية [5]. وهذه الموجات الشعرية عبارة عن مويجات ذات سعة صغيرة جداً وهي ليست من منشأ ميكانيكي، إنما تتشكل تحت تأثير درجة الحرارة (الشكل 3A) على عكس أمواج المحيطات الناتجة عن تأثير الرياح. كان فريقنا أول من استعمل عام 1987 انعكاسية أشعة X لدراسة نوع آخر من الظواهر ألا وهو سلوك طبقة أحادية الجزيئة من حمض دسم (حمض البان) على سطح الماء. يتشكل هذا الفيلم العضوي في تجويف من التفلون (الشكل 3B.) ويدعى هذا الفيلم بطبقة لانغمير، تكريماً للأمريكي إيرڤينغ لانغمير Irving Langmuir، الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء لعام 1932 والذي بدأ في تقنية تصنيعها. تُنشر الجزيئات في البداية على سطح الماء بمساعدة محلول يتبخر بسرعة عالية. تكون الجزيئات حينئذ مبعثرة كثيراً وفي حالة تذكرنا بالحالة الغازية. ثم «تجمع» الجزيئات عن طريق سوقها بمساعدة حاجز متحرك يمسح السطح بحيث نحصل على أطوار أكثر كثافة.

كان هدفنا استكشاف التغيرات البنيوية للفيلم العضوي بالإضافة إلى تغيرات سلوكية الموجات الشعرية على سطح الماء بدلالة الضغط الذي يطبقه الحاجز المتحرك. كانت الصعوبات الأولى تجريبية: كيف يتم تعريض سطح الماء لأشعة X دون أن تحجب حواف الحوض الحزمة الواردة؟ وكان الحل بإملاء الحوض إلى أعلى من حافته العلوية. يعرف كل واحد منا أنه عندما يُسكب الماء ببطء كاف في وعاء فإنه لا يطفح إلا عندما يتجاوز سطح الماء أعلى الوعاء قليلاً. يعود هذا السلوك إلى خاصة مميزة للماء هي توتره السطحي الشديد الذي ينجم عن حقيقة أن جزيئات الماء عند السطح تجذب بعضها بعضاً جذباً أشد من جذب جزيئات الهواء فوقها لها. يشبهُ فعْلُ التوتر السطحي هذا فعل الغشاء المرن للبالون المنفوخ جيداً، الذي يحول دون التشوهات الكبيرة في سطح البالون وبالإضافة إلى ذلك، يكون التوتر السطحي كافياً لكي لا ينسكب الماء عندما نحرك الحاجز المستخدم لتجميع الجزيئات بتصغير السطح المتاح لجزيئات الحمض الدسم، فيضغط الحاجز هذه الجزيئات كما يضغط المكبس الغاز في الأسطوانة. تخضع جزيئات الحمض الدسم المضغوطة لتغيرات طورية حقيقية وتمر على التوالي عبر الحالات التالية: الغاز، السائل المتمدد، السائل المكثف وفي النهايه الجسم الصلب.

تمتاز الطبقات المصنوعة من جزيئات الحمض الدسم بكونها بسيطة جداً فهي تتألف من تنضدين: يحوي الأول منها سلاسل أليفاتية alifatic (كارهة للماء). ويحوي الآخر رؤوساً قطبية (شرهة للماء). وباستعمال هذا النموذج البسيط، الذي يعطينا كثافة الطبقات، ضبطنا قيمة خشونة السطح بحيث نجعل منحنيات الانعكاسية المحسوبة تطابق المنحنيات التجريبية [6]. وكانت النتائج الأكثر مفاجاة تخص تغير الخشونة بدلالة الضغط المطبق من قبل الحاجز. فعندما يكون هذا الضغط معدوماً، لاتُحدث الكثافة الضعيفة للجزيئات أي تأثير على الموجات الشعْرية وتبقى الخشونة حينئذ مطابقة لخشونة الماء النقي.

وبالمقابل عندما يكون الضغط المطبق أشد ينشأ طور تكون فيه الجزيئات قريبة بعضها من بعض قرباً كافياً لتشكل سائلاً قليل الكثافة هو السائل المتمدد. لقد بيَّن تحليل منحنيات الانعكاسية أن الجزيئات تشكل قشرة رقيقة مستمرة لكنها غير ملتحمة (متراصة) بشكل كافٍ كي تنتظم السلاسل الأليفاتية عمودياً على السطح. وعلاوة على ذلك، تصبح الخشونة أعلى من خشونة سطح الماء النقي. وفي الواقع لاتتوقف الخشونة عن الازدياد خلال فترة الانضغاط (وذلك من 3,2Å إلى 3,7Å). إن ازدياد الموجات الشعرية مع الضغط الذي يظهر مع ازدياد الخشونة، ليس إلا نتيجة بسيطة لانخفاض التوتر السطحي، وهذا ينشأ عن أن انجذاب الجزيئات الأمفيفيلية عند السطح بجزيئات كتلة الماء الكلية هو أضعف شدةً من انجذابها بجزيئات الماء السطحية. يتأرجح السطح بيسر كبير بنفس الصورة التي يتشوه فيها بسهولة بالون مفرَّغ من الهواء قليلاً.

لنضغط الجزيئات أكثر فننتقل عندئذ إلى الطور المسمى «سائل مكثف» وهو أكثر كثافة من الطور السابق وفيه سلاسل الجزيئات مشدودة جداً. يظهر هذا التغير البنيوي بعنف ويتبعه ازدياد الخشونة (من 3,7Å إلى 4,2Å) المرتبط بانخفاض جديد للتوتر السطحي. وعندما نزيد الضغط أيضاً كي نعبر إلى الطور الصلب، والتغيرات البنيوية معروفة تماماً: تترجم بإنتصاب الجزيئات الذي ينتهي إلى ترتيب تكون فيه الجزيئات عمودية على سطح الماء. والأمر الأكثر مفاجأة هو تَغيُّر الخشونة التي تهبط بحدة من 4,2Å إلى 3Å، وهذا يقابل موجات شعرية ذات سعة أقل من سعة موجات الماء النقي.

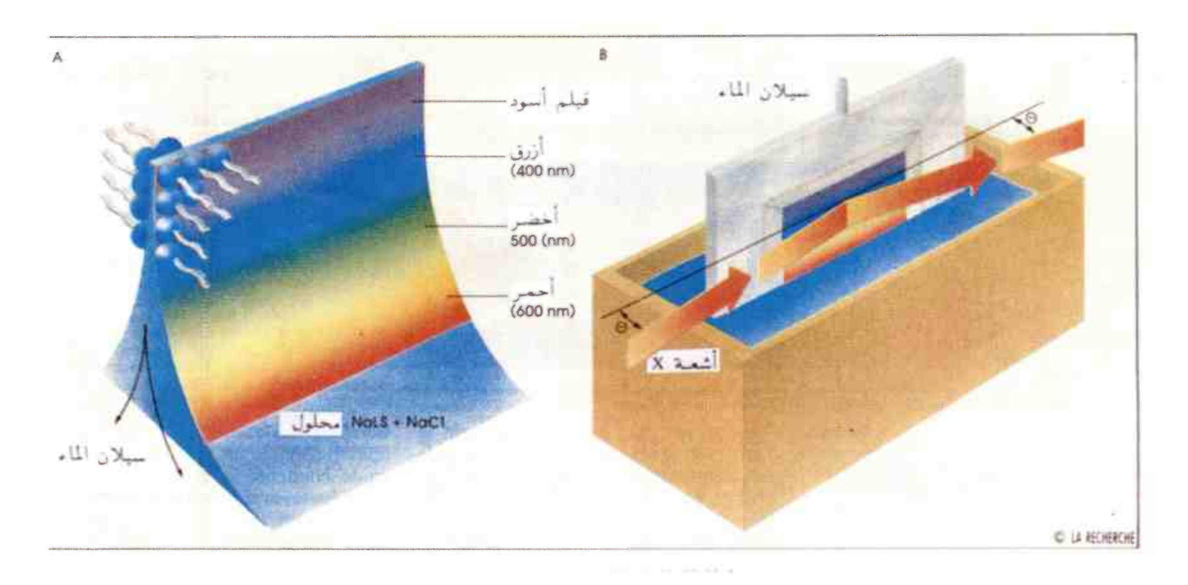
تسمح نظرية الموجات الشعْرية هنا أيضاً بتفسير هذه الظاهرة الغريبة حيث تصبح الطبقة أكثر صلابة واصعب تقويساً، وهذه الصلابة بالذات هي بالضبط ما يحدّ بشدة من التأرجحات الشعرية السطحية. لنوضح هنا أن قياسات الخشونة هذه لطبقة لانغمير في أطوارها المكثفة ما كانت لتتحقق بالطرائق الضوئية لأن سعات التأرجحات أصغر مما ينبغي لها أن تكون عليه كي تكون سهلة المنال بهذه التقنيات وهكذا كان الحال أيضاً مع القياسات التي أجريناها على جمل أخرى مثل أفلام الصابون السوداء التي سمحت انعكاسية X عليها بحل مشكلة قديمة جداً.

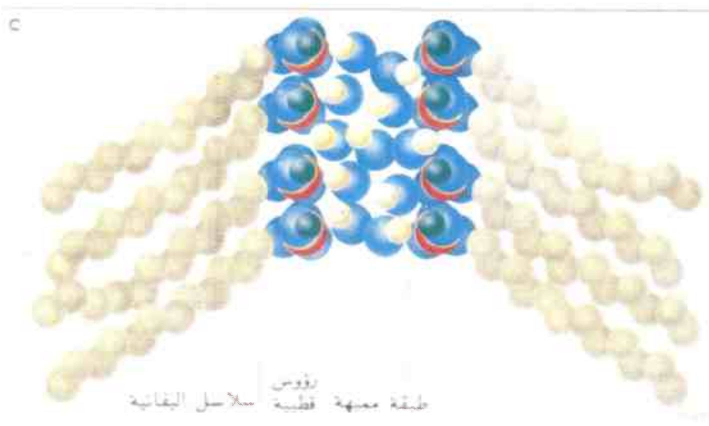
إن الملاحظات الأولى على أفلام الصابون قديمة جداً وروّاد دراستها العلمية هم ر. هوك R. Hooke (1672)، ي. نيوتن I. Newton (1704) و ج. ف. جيبس J. W. Gibbs (1876). والأفلام السوداء هي المرحلة النهائية لفقاعة الصابون بعد سيلان الماء (الشكل 4A). ففيلم الصابون بحد ذاته هو نوع من سندويش ثنائي الطبقة يشبه الغشاء البيولوجي بشموله طبقتين خارجيتين متناظرتين مكونتين من بساط من جزيئات الصابون وبينهما طبقة من الماء. ولكن هنا وعلى عكس الأغشية، تكون السلاسل الأليفاتية (الكارهة للماء) موجَّهة هنا نحو الخارج. ما هي الأفلام السوداء؟ نعلم منذ زمن بعيد أن ثخانة الأفلام السوداء صغيرة جداً بالمقارنة مع طول موجة الضوء المرئي (الواقع بين 0,4 و 0,8 مكرون). لنفحص فيلماً من الصابون شُكّلَ على إطار شاقولي غمس في حوض ماء صابوني. عندما يصبح الفيلم رقيقاً أثناء تصريف الماء نرى تتابع شرائط ملونة بألوان قوس قزح ويبقى أيض الفيلم ثخيناً. ثم إذا راقبنا الفيلم على خلفية معتمة نرى بقعة سوداء تتشكل وتنتشر على كامل الفقاعة. في الواقع يصبح الفيلم غير مرئي (عاتماً) ولا يظهر إلا باستخدام عدسة هلالية أحدُ وجهيها مقعر والآخر محدب عند وصلها بسطح حمام الماء الصابوني.

تتكوَّن هذه الأفلام من ثلاثة مركبات: وهي الصابون (هنا دوديسيل سلفات الصوديوم وهو عبارة عن صابون أيوني) والملح (على سبيل المثال كلور الصوديوم) والماء. وبحسب التركيز بالملح، نلاحظ نمطين من الأفلام السوداء: الأول ذو التركيز المنخفض يدعى الفيلم الأسود الشائع وهو الأكثر ثخانة، و الآخر وهو الأرقّ يتم الحصول عليه بتركيز أعلى من الملح فيدعى فيلم نيوتن الأسود. وعلى الرغم من الدراسات العديدة على الأفلام السوداء، كالدراسات الأنيقة جداً التي أنجزها ك. ميسيل K. Mysels في الولايات المتحدة الأمريكية في أعوام 1950 أساسياً بواسطة قياسات ضوئية وكهربائية، فقد بقيت بنية فيلم نيوتن غامضة. وانتهى الأمر بفريقنا في السنة الأخيرة إلى توضيح مشكلة قديمة تعود قريباً لثلاثة قرون: فقد استطعنا بشكل كامل تحديد بنية الأفلام السوداء وبخاصة قياس كمية الماء المحبوسة في هذه الأفلام [7].

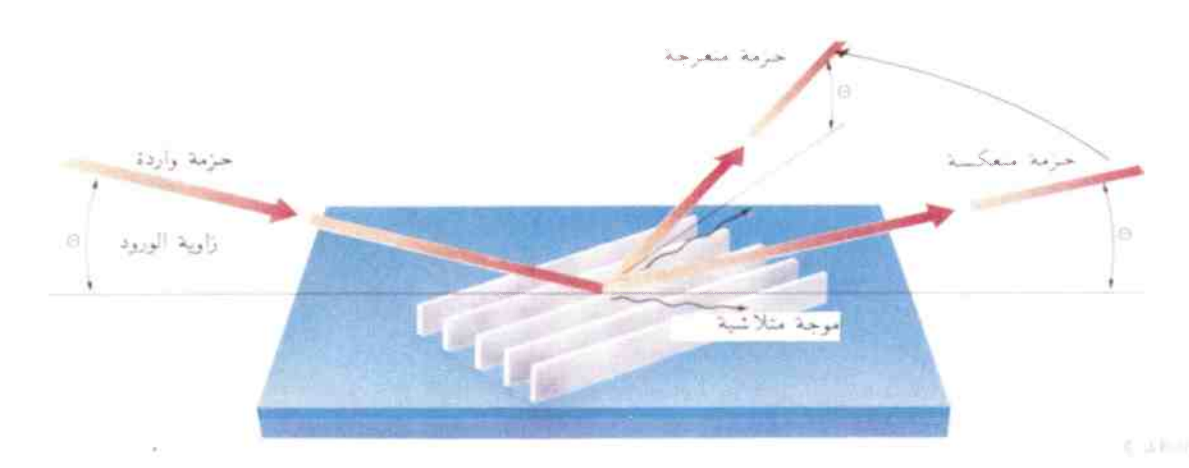
أخيراً أمكن توضيح بنية الفيلم الأسود، المرحلة النهائية لفيلم الصابون، بدراسة أهداب التداخل التي يولدها

وكما كان الحال من أجل القياسات على طبقات لانغمير، كانت مسألة الولوج في الزوايا الصغيرة جداً معقدة بصورة خاصة إذ كيف يتم تشكيل فيلم صابون مستو باستعمال إطار معدني ودون أن يعاق بهذا الإطار؟ وكان الحل في قطع الإطار على شكل حد مائل بحيث يتشكل الفيلم تماماً في مستويه الخارجي وبالضبط مقابل حزمة أشعة X (الشكل 4B). وعندما حُلَت مشكلة مرور أشعة X قمنا باحتياطات تجريبية دقيقة جداً (مراقبة الرطوبة ودرجة الحرارة، إزالة الاهتزازات) بحيث تتم السيطرة التامة على شروط تشكل واستقرار الفيلم. لقد تبيَن في هذه الشروط أن النتائج التجريبية قابلة للتكرار تماماً. لاحظنا في أشعة X المنعكسة عدة أهداب تداخل كييسيغ تتضمن تغيرات هامة في الانعكاسية وذلك من 1 من أجل الانعكاس الكلي إلى بضع وحدات من 10^{-8} من أجل النهايات الصغرى. وانطلاقاً من هذه المعطيات التجريبية شيَدنا نموذجاً بنيوياً لفيلم نيوتن الأسود (الشكل 4C). والأكثر دهشة في هذا الفيلم هو الغياب الكلي للماء السائل المرتبط بثخانة الفيلم الضعيفة جداً (33Å فقط) [7]. وبالمقابل، كانت الرؤوس القطبية مميهة بالكامل، أي محاطة بجزيئات ماء محبوسة في البُنية، تماماً كما في الصابون في الحالة المبلورة. كيف تُفسَّر الثخانة الضعيفة جداً لهذا الفيلم؟ السبب في ذلك حسب رأينا هو التالي: يؤدي التركيز العالي بالملح إلى معادلة تامة للشحنة الكهربائية السطحية للصابون وحده وبالتالي إلى محايدة التدافعات الكهراكدية بين جانبي الفيلم. وبإمكان هذا الفيلم أن يصبح رقيقاً جداً حتى ثخانة تنتج من التوازن بين قوى الجذب الجزيئي (المسماة قوى ڤان دير ڤاس Van der Waals) والقوى ذات المدى القصير جداً (على سبيل المثال القوى المحيطية الفراغية) التي تعيق تداخل الجزيئات). لقد وجدنا حديثاً لدى اختبارنا حالة





الشكل 4- يرق فيلم الصابون تدريجياً بقدر ما يسيل منه الماء، الذي يشكل الطبقة الوسطى. عندما تكون ثخانة الفيلم من مرتبة الأطوال الموجية الضوئية، تبدو على الفيلم حينئذ ألوان قوس القزح (A). ومن ثم يكون رقيقاً جداً ويصبح غير مرئي (أو أسود عندما يُلاحظ على خلفية معتمة). هكذا يَفرُض التحليل نفسه بانعكاسية أشعة X. ولدراسة أفلام الصابون، نُشكّلها على إطار مستوٍ بحيث يُضاء الفيلم بأشعة X تحت زوايا صغيرة جداً (B). وهكذا حُدِّدَ تركيب فيلم نيوتن الأسود الرقيق جداً (33Å)، الذي لايحتوي إلا على بضع جزيئات من الماء محبوسة في شبكة جزيئات الصابون (C).



الشكل 5- ينشأ الانعراج السطحي، وهو طريقة متممة للانعكاسية، عن الموجة «المتلاشية»، الموجة الضعيفة جداً التي تتوغل في السطح وتنتشر موازية له عندما يكون الجزء الأساسي من حزمة أشعة X منعكساً. وعندما تلاقي الموجة المتلاشية مستويات بلورية، فإنها تنحرف جزئياً وتخرج ثانية خارج مستوى الانعكاس يعطي قياس هذه الموجة المنعرجة إذاً مؤشرات عن تنظيم الجزيئات في مستوى السطح.

الصابون غير الأيوني الذي يُشكِّل أفلام نيوتن أنها ذات بنية مشابهة جداً لتلك الجمل السابقة. إن نتاج ملاحظاتنا عام جداً لأن أفلام نيوتن لا تحتوي على ماء سائل.

لنعد حالياً إلى الفيلم الأسود الشائع المشكَّل باستخدام صابون أيوني ولكن بتركيز ضعيف من الملح. لقد أشرنا إلى أنه إذا بقي نظام الطبقات مشابهاً لنظام طبقات فيلم نيوتن حينئذ يكمن الاختلاف مع هذا الأخير في وجود طبقة حقيقية من الماء السائل ثخانتها 30Å محتواة بين جوانب الصابون. يكون الفيلم الأسود هذا، غالباً غير مستقر وتكون فترة حياته قصيرة (من 1 إلى 5 دقائق) وهذا يعود دون شك إلى الحركات القوية للحمل الحراري للماء في الفيلم.

لقد أتاح لنا وضع طريقة تسجيل منحنيات الانعكاسية بزوايا صغيرة، جداً حيث الشدة أقوى، القيامَ بتسجيلات سريعة (تدوم قرابة 10 ثوان) أثناء سيلان الفيلم على سلَم الثخانات الصغيرة جداً (من 200 إلى 30Å) وقياس رقة الفيلم بدلالة الزمن في الواقع، لم يَعُدْ هيدروديناميك الأوساط المستمرة في سلم الثخانات هذا كافياً لتفسير السيلان: يكون هذا السيلان في البداية مُسَرَعاً بسبب دخول جميع القوى المجهرية ذات المدى القصير في التأثير وتظهر مسائل جديدة على سبيل المثال، حركية جوانب الصابون. يجب أن توضح لنا هذه القياسات كيفية تشكل الأفلام السوداء وتفتح لنا طريقاً جديداً والذي قد يسمى «نانو هيدروديناميك» في سلم الثخانات التي تتدخل فيها القوى المكروسكوبية بشدة.

مقاييس الانعكاسية بأشعة X هي الأجهزة التي يجب أن تصبح بسرعة مقاييس اعتيادية شائعة سواء في المخابر أو في الصناعة

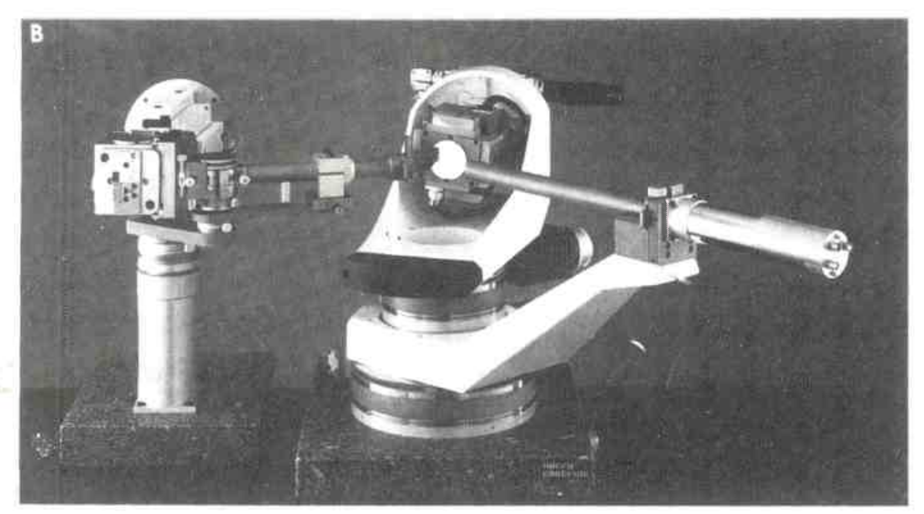
يتطلب الفهم الكامل لبنية منطقة بينيّة معلومات أكثر من تلك التي توفرها الانعكاسية التي تعطينا توزع الجزيئات في اتجاه عمودي على السطح. ينبغي أيضاً معرفة انتظام الجزيئات وفق الإتجاه الموازي للسطح البيني. حيث يتدخل هنا الانعراج السطحي. لقد اسْتُخدمت هذه التقنية للمرة الأولى في الولايات المتحدة الأمريكية من قبل ف. س. مارا W. C. Marra و ب. إيزنبرغر P. Eisenberger من جامعة برينستون Princeton في عام 1979 [8] من أجل دراسة الطبقتين البلوريتين الرقيقتين لزرنيخ الألمنيوم - غاليوم (GaAsAl)، المصنَّعتين بطريقة التنضيد الجزيئي epitaxie★.

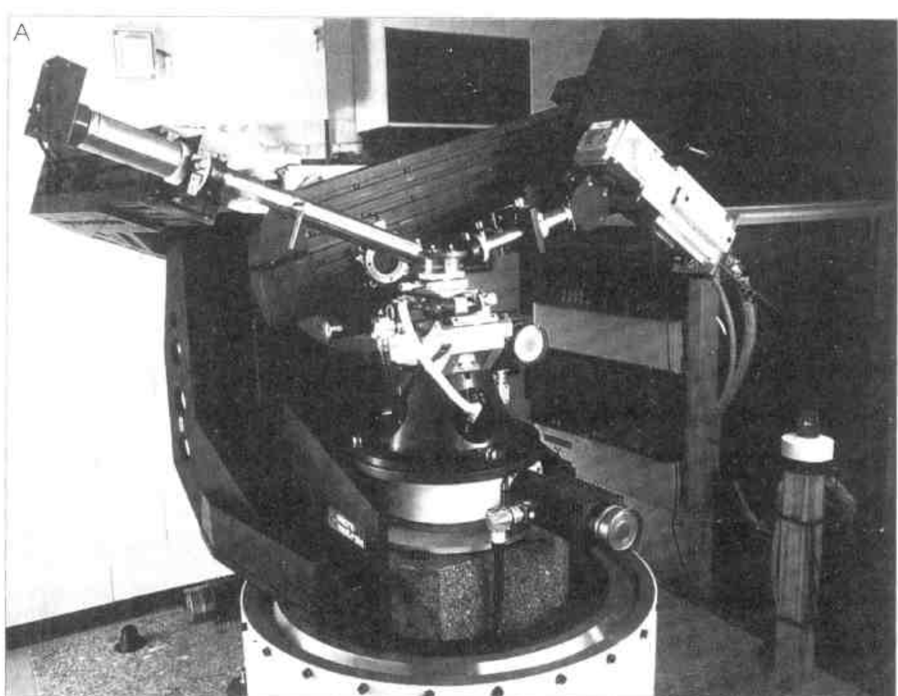
لنعد الآن إلى مبدأ الانعراج السطحي. قلنا أعلاه أنه عندما تصل حزمة أشعة X بزوايا ورود أدنى من الزاوية الحرجة، فإنها تعاني انعكاساً كاملاً على السطح البيني. في الحقيقة، إذا انعكس تماماً كامل الشدة الواصلة تقريباً، حينئذ يتوغل جزءٌ بسيط جداً من الإشعاع الوارد في المادة بشكل موجة تسمى «الموجة المتلاشية» تتخامد بسرعة كبيرة على مسافة بضع عشرات الأنغسترومات. تنتشر هذه الموجة المتلاشية موازية لسطح المادة بعمق توغل يمكن اختياره إجمالاً بين 40 و 1000Å بتغيير زاوية الورود قليلاً، كلما كانت هذه الزاوية أكبر تتوغل الموجة أكثر عمقاً. عندما تلاقي هذه الموجة مستويات بلورة مجاورة للسطح (الشكل 5) يمكن أن تحدث حينئذ ظواهر التداخل وتنعرج الموجة المتلاشية، ثم تبرز ثانية من السطح البيني بعدما كانت قد انحرفت. يسمح تحليل ظواهر التداخل هذا بتحديد البنية الذرية أو الجزيئية لسطح بيني كعلم البلورات التقليدي للمواد الكثيفة.

ماهي أهم تطبيقات وحدود هذه التقنية؟ يتعلق الجواب بطبيعة المادة الملاحظة التي تفرض شروطاً تجريبية قاسية جداً مثل الجودة الكاملة وعدم تلوث السطوح البينية المعدة للدراسة، ناهيك عن صغر المادة المتفاعلة مع أشعة X. وهذا يقود إلى استعمال تخلية عالية (من أجل العينات الصلبة) وأجهزة خصوصية جداً، تتوفر في أغلب الأحيان حول منابع سنكروترونية تمكن من القياس في أزمنة معقولة. سنوضح هذه التقنية بمثال مأخوذ من الجمل العضوية، أي طبقة لانغمير الأحادية على الماء. لكن يجب الإشارة إلى أن معظم الدراسات من هذا النوع قد تمت على جمل لاعضوية، ومنها مثلاً، دراسات الانتقالات الطورية للسطح أو دراسات سطوح أنصاف النواقل.

إنه لمن المفيد أن يوصف باختصار هنا استكشاف بُنى مسطحَة لطبقات أحادية بواسطة الانعراج السطحي الذي باشره عام 1990 فريقُ ب. دوتّا P. Dutta من جامعة نورث ويسترن North Western في الولايات المتحدة الأمريكية [9]، لأنه يُكْمِلُ العمل الذي عرضناه أعلاه حول الطبقات الأحادية. إن الجملة التي تهُم الأمريكان تشابه تقريباً جملتنا، لأن الأمر يتعلق بالحموض الدسمة من

★ épitaxie: هي ظاهرة نمو بلورة على سطح بلورة أخرى بحيث يكون نمو البلورة المترسبة موجهاً بالبنية الشبكية للقاعدة (معجم مصطلحات العلم والتكنولوجيا).





الشكل 6- من أجل دراسة السطوح السائلة والصلبة بسهولة من خلال الانعكاسية أو الانعراج السطحي ، فقد صنع المؤلف أجهزة تتضمن عدة معايرات زاوية تسهّل القياسات الدقيقة .
في (A). نرى مقياس الانعراج «4- حلقات» الذي يسمح ، بفضل إزاحة المنبع ، بإجراء قياسات الانعكاسية والانعراج بورودات مماسية على السطوح السائلة . في (B) مقياس الانعراج التجاري الحديث «3- حلقات» (شركة ميكروكونترول) مخصص لدراسة السطوح والأفلام الصلبة الرقيقة .

السلسلة ذاتها ولكن مدروسة بدرجات حرارة منخفضة تقع بين 1 و8°C في حين أن قياساتنا أجريت في درجات الحرارة العادية . في هذا المجال من درجات الحرارة ، تُظهر هذه المركبات تشكيلة كبيرة جداً من الأطوار ، لقد استطاع فريق ب. دوتا أن يصف بدقة بنية بعضٍ من هذه الأطوار بفضل الانعراج السطحي .

في الواقع ، وعلاوة على المميزات التي أعطيناها لمختلف الأطوار ، يجب إدخال عنصر جديد تكون حساسية الانعكاس بالنسبة له ضعيفة تماماً : وهو

الميلان الجزيئي. دون الدخول في التفاصيل، لقد أثبت تحليل مُعطيات انعراج السطح وجود طورين صلبَين متمايزين (الأول بدرجة حرارة منخفضة والآخر بدرجة حرارة عالية) حيث كانت الجزيئات عمودية على سطح الماء وتنتظم على شبكة مثلثية ملتوية قليلاً. تكون الجزيئات مائلة في الضغوط السطحية الأضعف مما هي عليه في الطور الصلب ويمكن أن يأخذ هذا الميل اتجاهين اتجاه موازٍ لضلع المثلث واتجاه عمودي على هذا الضلع. إن هذين الترتيبين هما أصل الطورين «سائل مكثف» المتمايزين وهكذا فإن انضمام التقنيتين، الانعكاسية والانعراج السطحي يعطينا جميع العناصر التي تصف ترتيب الجزيئات بجوار السطح.

لقد رأينا من خلال مختلف الدراسات المقدَّمة بأنه تم الآن السيطرة التامة على أدوات تحليل معطيات الانعكاسية أو الانعراج السطحي. ما هي التجهيزات التجريبية التي تسمح باستخدام هذه التقنيات الجديدة.؟

إن الجواب على هذا السؤال يتعلق في الواقع بالجمل المراد دراستها. لنختر ثلاث حالات: السوائل، السطوح البلورية (غالباً شديدة الفعالية كيميائياً)، وأخيراً سطوح الأجسام الصلبة والأفلام الرقيقة. في حالة السوائل، تنجم الصعوبة التجريبية الأساسية من حقيقة أنه يلزم إزاحة الحزمة الواردة كي تترك السطح الأفقي. لا يوجد إلا إمكانيتين لتحقيق هذا الشرط: إما بحرف الحزمة (وهذا هو الحل المعتمد حول منابع السنكروترون) وهو أقل سهولة بكثير مما هو عليه من أجل الضوء المرئي، لأن المرايا والمنابع وحيدة اللون لأشعة X ليست بهذه السهولة في الاستعمال، أو بإزاحة منبع أشعة X. لا يمكن التفكير بهذا الحل إلا عندما يكون المنبع منبعاً مخبرياً مغلقاً (تشبه منابع العاملين بالتصوير الإشعاعي). وهذا هو الحل الذي اخترناه حيث صنعنا مع شركة مكرو كونترول Microcontrole جهاز انعراج «4 حلقات» أي أنه يتضمن أربعة محاور دوران، اثنان منها لتوجيه العينَة بالنسبة للحزمة الواردة والاثنان الآخران لجَمْع الإشعاع المنعرج أو المنعكس (الشكل 6A). في تجربة الانعكاسية لايلزم سوى المحورين الأفقيين فقط: وهما اللذان يزيحان المنبع والكاشف على التوالي في المستوى الشاقولي. يتيح هذا النوع من الأجهزة استكشافاً دقيقاً للانعكاسية، ذلك لأن الخطوة الصغرى للضبط الزاوي صغيرة جداً (10^{-4} درجة). ولتحقيق تجربة انعراج سطحية، نستعمل الضبطين الآخرين وفق المحورين الشاقوليين) اللذين يوفران إمكانية استكشاف الضوء المنعكس خارج مستوى الورود وتوجيه العينَة. وبواسطة هذا الجهاز، يمكن إجراء دراسة طبقات لانغمير على الماء بالانعكاسية وبالانعراج على السواء. في حالة السطوح البلورية حيث تَفْرض فيها الفعالية الكيميائية الكبيرة جداً العملَ تحت خلاء عال، لا تستعمل إلا أجهزة الانعراج السطحي المصنوعَة خصيصاً من أجل الإشعاع السنكرتروني (لاتستعمل الانعكاسية إلا نادراً من أجل هذا النوع من الدراسات).

إن الحالة الأخيرة حالة الأفلام الرقيقة وذات الطبقات المتعددة وكذلك حالة السطوح البينية بين الأجسام الصلبة تَهمُّ الصناعيين كثيراً. إذ أن هذه الجمل غالباً ما تكون سهلة الاختبار، لأنها لا تتطلب وسطاً معقد الإعداد ولا تستدعي خلاءً عالياً، ويمكن أن تُدرس غالباً بواسطة منبع تقليدي لأشعة X. لقد سمحت لنا التجربة المكتسبة في مجال الانعكاسية على هذا النوع من العينات تصميم مختلف الأجهزة حيث تم تسويق الأكثر عصرية منها (الشكل 6B). يمثل هذا الجهاز حصيلة مختلف التطورات التي تحققت في السنوات الأخيرة. وأخيراً، تمتلك ضوئيات أشعة X مظهراً مضاعفاً: تقانة معقدة التجهيز ووسيلة مخبرية سهلة الاستعمال. إنها معقدة عندما ينبغي استعمالها مع منابع سنكروترونية وبشكل أساسي في حالة الانعراج السطحي، لكنها توفر معلومات غنية جداً عن البنية. غير أنه عندما يكون استعمال منابع تقليدية لأشعة X ممكناً، يمكن أن تصبح القياسات سهلة جداً. ومن المتوقع أيضاً أن تصبح انعكاسية أشعة X، التي تلقى حالياً نجاحاً كبيراً، سريعة الشيوع وهكذا يمكن أن يصبح مقياس انعكاس أشعة X جهازاً شائعاً كما هو المجهر الإلكتروني أو مقياس القطع الناقص الذي هو جهاز يستعمل استقطاب الضوء لقياس الثخانات والقرائن. وسيكون بالإمكان حينئذ التفكير باستخدام ذلك لفحص الطبقات الرقيقة، شائعة الاستعمال، عند الصنع، وذلك أثناء علاج خواصها للانعكاس سواء في عدسات النظارات أو في واقيات الريح (الزجاج الأمامي في السيارات) أو عند التزجيج. هذا وتعدّ الإلكترونيات المكروية، المنتجة الكبرى للطبقات الرقيقة ذات الأبعاد المتزايدة في صغرها، أيضاً مجالاً يجب أن يقوم فيه مقياس انعكاس أشعة X دوراً متزايداً من أجل فهم البنى ومراقبة الجودة.

REFERENCES المراجع

[1] L. G. Paratt, *Phys. Rev.*, **95**, 359, 1954.
[2] F. Abélès, *Ann. phys.*, **5**, 596, 1950.
[3] P. Croce et L. Nevot, *Revue phys.* Appl., **11**, 113, 1976.
[4] L. Bosio et M. Oumezine, *J. Chem. Phys.*, **80**, 954, 1984.
[5] D. K. Schwartz et al., *phys. Rev.*, A41, 5687, 1990.
[6] J. Daillant, *et al Europhys. Lett.*, **8** (5), 1989.
[7] O. Bélorgey et J. J. Benattar, *Phys. Rev. Lett.***66**, 313,1191.
[8] W. C. Marra, P. Eisenberger et A. V. Cho, *J. Appl. phys*, **50**, 6927, 1979.
[9] B. Lin, *et al phys. Rev. Lett.*, **65**, 191, 1990.

Key Words الكلمات المفتاح

1- reflectivity .... الانعكاسية
2- X-ray .... أشعة X
3- interface .... سطح بيني
4- tunnel effect microscope .... مجهر ذو المفعول النفقي
5- structure .... البنيــة
6- liquid crystals .... البلورات السائلة
7- surface tension .... التوتر السطحي
8- layer .... الطبقة
9- surface diffraction .... الانعراج

كارثة تشرنوبيل: حصيلة غير متوقعة*

ج . ك . نيو
مهندس زراعي-مدير أبحاث في معهد الوقاية والأمان النووي في فونتني أوروز ـ فرنسا
ر . كولون
رئيس دائرة في معهد الوقاية والأمان النووي

ملخص

منذ ست سنوات انفجر المفاعل رقم 4 في المحطة النووية في تشرنوبيل، وعلى مدى ما يقرب من عشرة أيام قُذف جزء كبير من المنتجات المشعة من قلب المفاعل إلى الجو، مشكلاً سحابة مشعة أحدثت مساراتها وإسقاطاتها على كل أوربا أحد الهواجس خلال أشهر عديدة. وشكلت هذه الكارثة، التي لا سابق لها في تاريخ الطاقة الذرّية، موضوعاً لأحاديث مطمئنة، أو صمت رسمي أو إشاعات مفجعة. فماذا عن تلك الكارثة اليوم، بعد ست سنوات؟ ما هي الحصيلة التي يمكن إقامتها فيما يخص النتائج البيئية والزراعية والصحية لهذا الحادث؟ في هذا المقال رسم جان كلود نينوت Jean-Claude Nénot صورة متباينة. فإذا كانت التأثيرات البيئية آخذة بالتحسّن، حتى بالقرب من المحطة النووية، فما زالت الشكوك مستمرة على الصعيد الطبي والصحي.

المقدمة

في الساعة الواحدة والدقيقة الثالثة والعشرون (حسب توقيت موسكو) من يوم 25 نيسان 1986، انفجر أحد المفاعلات الأربعة في الموقع النووي في تشرنوبيل، فارتفع غطاء المفاعل، المكون من بلاطة تزن ألفي طن، محرراً كمية كبيرة من المنتجات المشعة المختلفة في الجو. وخلال الأيام العشرة التالية، تغيرت شروط انتشار المنتجات المشعة، بحسب سيطرة التأثيرات الآلية (الانفجار) أو التأثيرات الحرارية (الحريق) التي غيرت من الأهمية النسبية للنكليدات المشعة المنطلقة كما غيرت من شروط تبعثرها. ويشكل هذا الحادث في الوقت الراهن أهم كارثة في تاريخ الطاقة الذرّية المدنية (الشكل 1). وبالرغم من العدد الكبير لقياسات النشاط الإشعاعي المتبقي. وبالرغم من العدد الكبير أيضاً للأشخاص الذين تم فحصهم ومتابعتهم طبياً، وبالرغم من التدخلات العديدة لانقاذ السكان من خطر الإشعاعات، ظلت الشكوك كبيرة فيما يخص النتائج الطبية والصحية، وبقيت الإشاعات الأكثر بعداً عن الواقع تنتشر. وكان من الصعب على المواطن، سواء كان أوكرانياً أو بيلوروسياً أو روسياً أو فرنسياً، أن يقدّر الأمور في جو يسود فيه الصمت الرسمي، والأقوال المطمئنة قصداً، والمزايدات السياسية ومختلف سيناريوهات الكارثة.

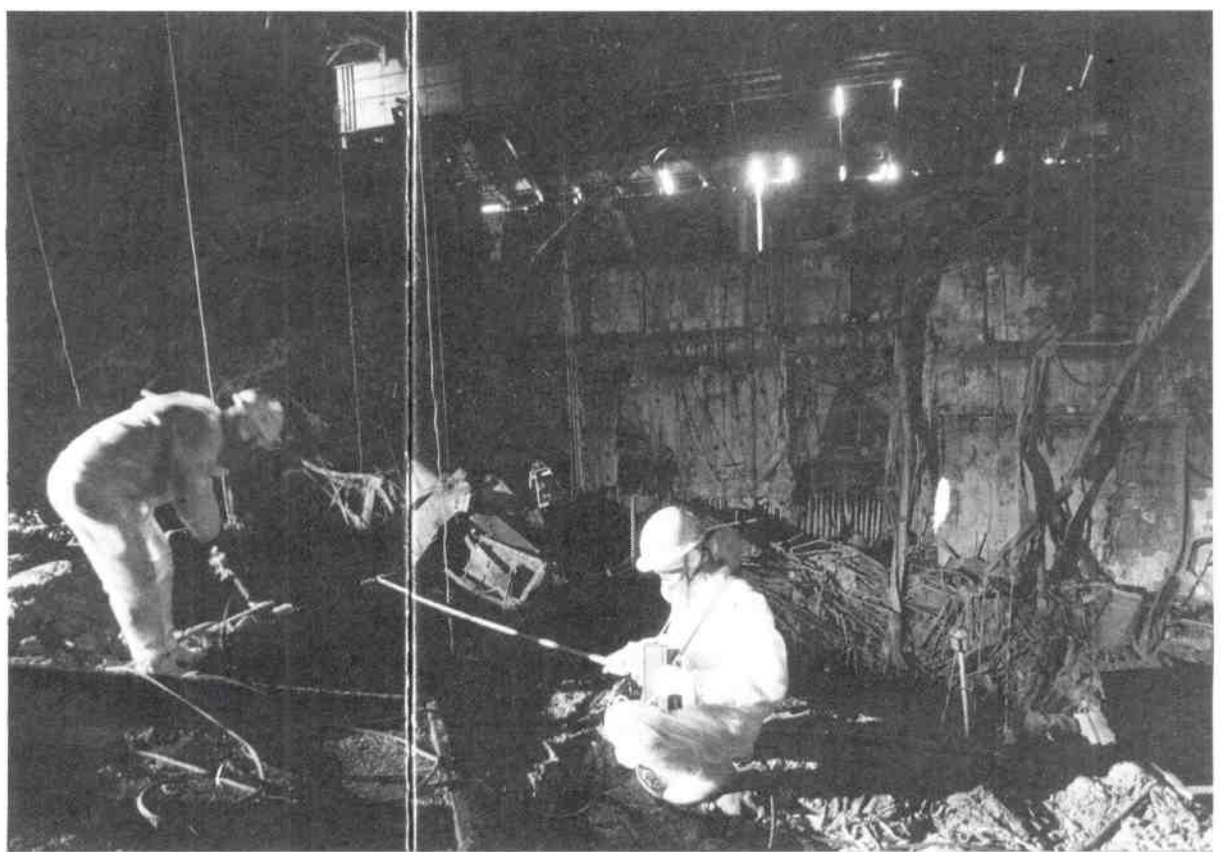
وفي الواقع، وبعد أن أُعلن الإنذار في مركز الأزمة في وزارة الصناعة والطاقة الذرّية في موسكو، أخذت السلطات المركزية على عاتقها مسؤولية تقدير الوضع ومراقبته وإدارته: وكانت المعلومات، خلال المرحلة الأولى هذه، محدودة للغاية، كيلا يقال إنها غير موجودة. وأدى غياب الإعلام الرسمي هذا إلى انتشار الشائعات، التي غالباً لا أساس لها إلا أنها أسهمت في تزايد حالة حقيقية من الذعر.

لكن اتساع الكارثة وصداها الدولي لم يسمحا للمسؤولين في الجمهوريات الثلاث المعنية (أوكرانيا وبيلوروسيا وروسيا) بالبقاء بعيداً عن الأمر طويلاً. فقد جرى تدخلهم وتدخل المؤسسات العلمية المختلفة التابعة لهم بشكل غير منظم، في سياق سياسي

* هذا المقال منشور في مجلة *La Recherche* 246, Vol. 23, septembre, 1992. ترجمه الدكتور محمد عثمان ـ قسم البيولوجيا وراجعه الدكتور توفيق قسام . عضو اللجنة الاستشارية العلمية ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

واقتصادي واجتماعي صعب جداً، الأمر الذي لم يساهم في إصلاح الموقف بل زاد الطين بِلة. وفقد الناس ما تبقى لديهم من ثقة، إذ باتوا مصدومين، لا يَعُون شيئاً مما يحدث، وسط هذه المزايدات والمنافسات. ولهذا طلبت السلطات السوفييتية، في عام 1989، من الوكالة الدولية للطاقة الذرّية (AIEA) تنسيق الخبرة الدولية [1]، التي سمحت بتقييم الحالة الراهنة وإسقاطها على المستقبل، وتقدير نوعية وصلاحية المعلومات التي يقدمها السوفييت.

وانطلاقاً من القياسات التي أجراها السوفييت في منطقة تمتد 30 كيلومتراً حول المحطة النووية، قدر النشاط الإشعاعي الصادر بهامش ريب معقول (±50%). فضلاً عن ذلك، أعيدت هذه التقديرات من قبل منظمات وطنية، كمعهد الوقاية والأمان النووي (IPSN) في فرنسا مثلاً، ومنظمات دولية، خاصة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية (AIEA)، على أساس مستوى التلوث المقاس في البلاد المتأثرة بالإسقاطات المشعة.



الشكل 1- يُعد انفجار أحد المفاعلات الأربعة في المحطة النووية في تشرنوبيل، منذ أكثر من ست سنوات، أهم كارثة في تاريخ الطاقة النووية. فقد انهار قلب المفاعل، وارتفع غطاء المفاعل، المكون من بلاطة وزنها 2000 طن، بوضع شاقولي نتيجة الانفجار. وقد سمح ذلك بانتشار العناصر المشعة في الجو: غازات نادرة، اليود 131، والسيزيوم 137 و134، والسترونتيوم 90، والبلوتونيوم 239، إلخ... وقد سببت هذه النكليدات المشعة المنطلقة في الجو تلوث كميات كبيرة من الهواء: ودفعت الرياحُ السحابة المشعة المشهورة عبر كامل أوربا تقريباً. وبقي القسم الأساسي من الوقود في المفاعل المصاب أو في جواره مباشرة. والتابوت الذي أنجز في تشرين الأول 1986 هو بنيان مكون من الخرسانة والفولاذ بارتفاع 50 م مُعد لحصر الوقود في أنقاض المفاعل. والصورة الضوئية هذه، المأخوذة بعد خمس سنوات من الحادث، هي إحدى الصور الأولى من داخل التابوت. وتجرى قياسات النشاط الإشعاعي على حافة الحفرة التي كان المفاعل موجود فيها. وبما أن البنى الموجودة تحت المفاعل تحمل أوزاناً لم تكن بالأساس محسوبة لها، فمن الضروري الحفاظ على حالة التابوت الحانية. ومنذ عام 1990 طرحت مسألة وضع تابوت ثان؛ ويجب أن يصمم ليقاوم بشكل خاص التصدعات الداخلية التي يمكن أن تحدث.

وقد حدث جزء كبير من هذه الاصدارات (حوالي 25%) في اليوم الأول إثر الانفجار الذي حدث في المفاعل. أما الباقي فقد انتشر خلال الأيام التسعة التالية إثر الحريق الشديد الذي شب. وقد تغير معدل طرح النواتج المشعة خلال الزمن: فقد تناقص طيلة الأيام الخمسة الأولى وتزايد طيلة الأيام الأربعة الأخرى. وقد توقف الإصدار عملياً عقب اليوم العاشر.

وقد وجد في الإصدارات المشعة أن النكليدات المشعة الأشد تبخراً تشكل الأكثرية. وتأتي، في المقام الأول، كافة الغازات النادرة الموجودة في المفاعل؛ ثم يأتي بعد ذلك اليود 131 (^{131}I)، وهو نكليد ذو دورة قصيرة (ثمانية أيام) مسؤول عن قسط كبير من تعريض السكان للإشعاعات خلال الأسابيع الأولى، وقد انبعث عنه ما يقرب من 5.10^{17}Bq (انظر المؤصر 1)، ويمثل ذلك حوالي 20% من النشاط الإشعاعي الموجود في قلب المفاعل. ونجد بعد ذلك السيزيوم، ^{137}Cs و^{134}Cs، والأول هو نكليد مشع ذو دورٍ طويل (30 سنة) ومسؤول عن الجزء الأعظم من تعرض السكان في الحاضر والمستقبل: حوالي 7.10^{16}Bq من ^{137}Cs كان قد انتشر، أي حوالي 15% من النشاط الإشعاعي الموجود في قلب المفاعل. وأخيراً تأتي مجموعة العناصر الأخرى (السترانسيوم 90- والبلوتونيوم 239، ....) وهي أقل تبخراً بكثير، ولهذا السبب فإن نشاطاتها الإشعاعية الصادرة كانت أضعف بكثير (من رتبة بضعة أجزاء بالمئة من النشاط الموجود في قلب المفاعل).

وهكذا فإن كل هذه النكليدات المشعة وُجدت مدفوعة في الجو، على شكل تتابعات كتل من الهواء الملوث الذي نطلق عليها غالباً اسم السحاب المشع.

ولم يتوفر لدينا سوى القليل من المعلومات عن الوضع المحلي عقب الحادث. كما لم يسمح بالفعل افتقار الإعداد والتنظيم بالحصول على قياسات موثوقة ومتناسقة وممثلة. واستناداً إلى المعلومات التي بحوزتنا ومن إعادة تمثيل الوضع مرة ثانية نعلم أن سويات التلوث والتشعيع خلقت وضعاً في غاية الخطورة، اقتضى إخلاء 135000 شخص، وعلى الخصوص الـ 45000 شخص من سكان مدينة بريبيات Pripyat الموجودة على بعد ثلاثة كليومترات إلى الغرب من المحطة النووية المصابة حيث وصل التشعيع الخارجي فيها إلى 0.1 mSv/h (انظر المؤطر 1) في نهاية اليوم الأول، أي ما يعادل ألف مرة من السوية الطبيعية. من الواضح أن السكان القاطنين في مناطق معزولة قريبة واقعة خارج منطقة الإخلاء، وفي بعض الأحيان في مناطق بعيدة لكنها شديدة التلوث، استمروا بالحياة بشكل عادي في وسط ذي نشاط إشعاعي شديد. وقد خضع هؤلاء السكان لا محالة إلى تعريض مرتفع بعد الحادث من الصعب جداً تقديره بعد فوات الأوان.

لقد أسهم توضع النكليدات المشعة على الأرض، المتضافر بشدة مع التشعيع الخارجي، والتقاطه من قبل الغطاء النباتي، وخاصة المنتجات الزراعية المعدّة لتغذية الإنسان والحيوان، في تفاقم الوضع. ففي المنطقة القريبة من الموقع، بلغ تركيز العناصر المشعة في المنتجات الغذائية (حليب، بقوليات خضراء، ....) مئات الآلاف وحتى ملايين البيكرل Bq في الليتر أو في الكيلوغرام [2].

وقد شكل الماء سبيلاً آخر للتلوث: فالرواسب المشحونة بنواتج السحاب المشع الصادر عن المفاعل شكلت معيناً مباشراً للتلوث في المياه السطحية، ولكن تلك المياه على الخصوص تلوثت أيضاً نتيجة غسل الأراضي الملوثة بالنكليدات المشعة. وقد أقلق هذا النوع من التلوث السوفييت بشدة، وعلى الخصوص من ناحية وقاية حقول المياه الجوفية والخزانات الكبيرة التي تستعمل لتزويد المدن مثل كييف. غير أنه اتضح فيما بعد بأن هذا الخطر كان ضئيلاً، إلا في المناطق القريبة جداً أو في حالة الأوساط المغلقة (بعض البحيرات أو المستنقعات) التي كانت عرضة لتراكم العناصر المشعة.

ثم تحسن الوضع سريعاً، بمرور الزمن. وقبل كل شيء بصورة طبيعية، بسبب تناقص النشاط الإشعاعي للعناصر قصيرة العمر (وخاصة اليود ^{131}I)، واختفاء التلوث الجوي، وهجرة العناصر إلى باطن الأرض والرسوبيات. بالاضافة إلى ذلك، وبما أن رواسب العناصر المشعة قد توقفت واختفى جزء من النباتات الملوثة، فالسبيل الوحيد الباقي للتلوث هو الامتصاص بواسطة الجذور النباتية، وهذا أقل أهمية بكثير. كما تحسن الوضع أيضاً بوضع نظام رقابة حقيقي، وباستخدام وسائل الحماية (على سبيل المثال، استبعاد المنتجات الغذائية التي تجاوز مستوى التلوث



الشكل 2- إلى الغرب من المحطة النووية في تشرنوبيل، احترقت غابة صنوبريات كاملة بالإشعاعات وعلى مساحة 400 هكتار. وقد وصلت سويات التشعيع في هذا المكان إلى قيم مرتفعة جداً، من رتبة حوالي مائة غراي. في الجهة الخلفية من هذه الصورة الضوئية، يمكن مشاهدة المحطة النووية المهدمة. غير أن مثل هذه التأثيرات على الوسط تبقى محصورة في الموضع وتلاحظ العودة إلى الحالة العادية بعد الكارثة بست سنوات.

فيها بعض القيم المقرَّرة) وبالتعليمات المشددة للسلوك التي بانت ناجعة جداً.

غير أنه خلال الفترة الحرجة التي تلت الحادث، استطاعت مستويات التشعيع، في منطقة تبعد بضعة كيلومترات حول المحطة النووية المصابة، أن تصل بدقة إلى قيم مرتفعة جداً بلغت عدة عشرات غراي (انظر المؤطر 1)، وحتى حوالي مائة غراي، ولعدة أسابيع. وفي مثل هذه السويات يمكن أن نتوقع ظهور تأثيرات على الوسط النباتي والحيواني. وهكذا، فإن غابة مساحتها 400 هكتار مكونة من الصنوبر pins sylvestres، تقع غرب المحطة النووية، أتلفت تماماً [3] (الشكل 2). وقد وصلت الجرعة في هذا المكان إلى حوالي مائة غراي. وفي مناطق أخرى، تقع على بعد عدة كيلومترات حول المحطة النووية، حيث وصلت الجرعة فيها إلى بضع عشرات غراي، شوهدت مظاهر مختلفة مثل ذبول بعض الأشجار، واثباط نموها وقدرتها على التكاثر، وتغيرات شكلية ظهر تأثيرها على نمو غير متماثل أو على كبر بعض الأعضاء (إبر شجر الصنوبر) (الشكل 3)، وتموتها nécroses أو إصابتها بأضرار مختلفة وخاصة البراعم، وظهور شذوذات وراثية.

وتعزى هذه التأثيرات بشكل أساسي إلى مفعول الإشعاعات على البراعم القمية حيث توجد فيها النسج القمية (الميريستيمات) méristèmes، وهي نسج مكونة من خلايا سريعة الانقسام تؤدي إلى نمو النبات. وكما في جميع النسج ذات معدل التجديد السريع، فإن النسج القميَّة على نحو خاص سريعة التأثر بالإشعاعات، سيما في حالة الصنوبريات.

ودون الإقلال من أهمية هذه التأثيرات، يجب مع ذلك أن لا ننسى، من جهة، أن هذه التأثيرات لا تظهر في الواقع إلا في منطقة محدودة المساحة نسبياً، ومن جهة أخرى، أن الوضع عكوسي: فنلاحظ الآن العودة إلى الحالة العادية.

وفيما يتعلق بالعالم الحيواني، وبخاصة القواضم، فقد ثبت أن التشعيع الشديد قد أحدث في بعض المناطق موت الكثير منها وتبع ذلك نسبة مرتفعة من الوفيات الجنينية. لكن الوضع عاد إلى حاله منذ عام 1987-1988 من جراء النزوح. وقد تعرضت الماشية بشكل خاص للإسقاطات، لأن معظمها كان على المراعي ولم يتم إخلاؤها أو أنها أُخليت في وقت متأخر. وفي منطقة ملوثة قريبة جداً من المحطة النووية، بقي قطيع من عدة مئات من رؤوس الماشية،

المؤطر 1

واحدات قياس الإشعاعات وآثارها*

النشاط الإشعاعي La radioactivité

يُعَرَّفُ نشاط كمية ما من مادة نشطة إشعاعياً بعدد التفككات (للنوى الذرّية) الحاصلة في هذه الكمية خلال واحدة الزمن. وواحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي للواحدات هي البكرل (B_q)، حيث:

$1\ B_q$ = تفككاً واحداً في الثانية.

وهذه واحدة صغير جداً، فيستعمل عادة مضاعفاتها: الكيلوبكرل (kB_q) ويساوي 1000 بكرل والميغابكرل (MB_q) ويساوي 10^6 بكرل.

وحتى عام 1986 كان يستعمل الكوري (Ci)، الذي سبق وعرّف تاريخياً بأنه نشاط غرام واحد من لراديوم -226، حيث: 1 كوري =37 مليار بكرل. ويُسمَى الزمن اللازم لتفكك (الاختفاء بالتحوّل إلى ذرّات أخرى) نصف عدد الذرّات الموجودة في الأصل بـ «دور النشاط الإشعاعي Periode radioactive». ويتراوح هذا الزمن بين جزء صغير جداً من الثانية وعدة مليارات السنين.

الجرعة الممتصة La dose absorbée

تتخلى الإشعاعات المُؤيّنة عن قسم من طاقتها في المادة التي تعبرها، ويُعبَر عن هذه الطاقة المنتقلة، أو الجرعة الممتصة، بالغراي (Gy)،

حيث: 1Gy = جولاً واحداً لكل كيلوغرام واحد من المادة

لا توجد علاقة مباشرة بين التفككات بالثانية (بـ البكرل) والجرعة الممتصة (بالغراي) حيث أن التقابل بينهما يختلف من أجل كل نظير من كل عنصر.

مكافىء الجرعة L'équivalent de dose

يمكن للطاقة المنتقلة من الإشعاع المُؤيّن إلى النسيج أو العضو أن تحدث آثاراً بيولوجية، تتعلق بالتأكيد بكمية الطاقة المنتقلة (أي بالجرعة الممتصة)، ولكن أيضاً تتعلق بالطريقة التي حُرِرّت وفقها هذه الطاقة، وبالتالي بطبيعة الإشعاع. ولذا يعبر عن هذا الأثر (الأذى) بمكافىء الجرعة، وواحدته السيفرت (Sv) sievert. فمن أجل مكافىء الجرعة ذاته ومن أجل النسيج أو العضو ذاته، تكون الآثار متماثلة مهما تكن النوى المشعة وسواء أكان التعرض خارجياً أم داخلياً. وهكذا نجد أن:

$$1\ Sv = 1\ Gy \times Q$$

حيث Q هو معامل نوعي يتعلق بطبيعة الإشعاع، وتتراوح قيمته بين 1 و20. فمن أجل الإشعاعات كأشعة x وأشعة غاما أو بيتا مثلاً، تكون $Q = 1$ ومن أجل مصدرات α تكون $Q = 20$.

والسيفرت واحدة كبيرة نسبياً، فيستعمل عادة أجزاء منها:

المِلّي سيفرت $1/1000\ Sv = (m\ Sv)$ والمكروسيفرت ($\mu\ Sv$) = جزءاً من مليون جزء من السيفرت.

ويُعبّر عن الجرعة غالباً بدلالة الزمن الذي تم فيه التعرض لها، ومن ذلك يأتي مفهوم معدل الجرعة: أي الجرعة بواحدة الزمن (m Gy/h أو m Sv/h، مثلاً).

وطالما أن لمكافىء الجرعة ذاته تأثيرات تختلف حسب العضو المعرّض، يستعمل أيضاً مكافىء الجرعة الفعّالة الذي يقابل مكافىء الجرعة محمّل بمعامل يأخذ في الاعتبار الحساسية الخاصة بكل عضو تجاه الإشعاعات. ويمكن اعتبار هذه الكمية كمؤشر لخطورة الآثار على المدى البعيد (الآثار المحتملة)، مع الأخذ في الاعتبار طبيعة هذه الآثار وتوزعها المتجانس أو غير المتجانس في الجسم ويُعبَر عن هذه الكمية بالسيفرت أيضاً.

* سبق وأن نشر في مجلة عالم الذرّة، العدد 22 لعام 1992، ص 99.



الشكل 3- على بعد عدة كيلومترات حول المحطة النووية، وصلت جرعة التشعيع إلى عدة عشرات من الغراي ويلاحظ فيها إصابات بيئية من بينها المجموع النباتي. فالأشجار الفتية ماتت، والأشجار القديمة التي تأذت بشدة عام 1986، أبدت استئنافاً لنشاط قمتها منذ عام 1987 وتظهر في الوقت الراهن نصفاً علوياً غليظاً وكثيفاً على نحو غير سوي. وتوضح هذه الصورة الضوئية، المأخوذة في عام 1989، هذا الارتكاس في نشوء البراعم الورقية بشكل غير سوي في نبات صنوبري مشعع.

خلال 2-4 أشهر، يتلقى جرعات عالية (800 غراي للدرق) وألمت به نسبة عالية من الوفيات والمرضيات. وقد أُخليت الحيوانات (أبقار وخراف وخيول)، التي كانت موجودة في مجمل منطقة 30 كم حول المحطة النووية، بعد حوالي عشرة أيام من الحادث؛ وفي هذه الأثناء، تلقت حوالي مائة غراي في الدرق وعانت بعد ذلك من اختلال عمل هذه الغدة، بصورة أشد كلما كانت الجرعة عالية. وكان مردود ونسبة تكاثر هذه الماشية بعد ذلك أقل من السوي، لكن حالتها الصحية السيئة كانت ناتجة أيضاً عن النقص المزمن من العلف ونوعيته الرديئة. ولقد تحسن مردود الحليب ولحم الذبح بشكل ملموس منذ بضع سنوات. كما أن العجول التي ولدت بعد حادث تشرنوبيل، والتي شععت قبل شهرين من ولادتها، عانت أيضاً من قصور درقي hypothyroidie، تمخض فيما بعد عن قزم نسبي. أما تواتر التشكلات الشاذة (التشوهات) malformations المشار إليها عند العجول وصغار الخنازير لا يمكن أن يعزى إلى التشعيع، لأن هذا النوع من التأثيرات لا يظهر إلا في الجرعات المرتفعة جداً (أكثر من 100 غراي). ومع ذلك، فإن المقارنة بين المناطق الشديدة التلوث بشكل خاص (مثل ضواحي ناروديتشي Naroditchi و أوفروتش Ovroutch) والمناطق التي تجنبت ذلك التلوث في أوكرانيا والقرم Crimée) لم تظهر فرقاً ذا دلالة معنوية.

إن خرائط توضعات السيزيوم ^{137}Cs وما تبعه من السترونثيوم ^{90}Sr والبلوتونيوم ^{239}Pu التي وضعها العلماء السوفييت، وخاصة لجنة الدولة للأرصاد الجوية وعلم المياه، كانت دقيقة بما فيه الكفاية حسب التقدير الذي أُجري تحت رعاية الوكالة الدولية للطاقة الذرّية AIEA. ويوضح الشكل 4 فيما يوضح أهمية توضعات الـ ^{137}Cs على مسافات عدة مئات الكيلومترات (منطقة غومل Gomel، في الشمال الشرقي من المحطة النووية) وكذلك تباينها الكبير، الناتج بشكل خاص عن تأثير العوامل الجوية (انظر المؤطر 3).

وما زال تلوث المحاصيل الزراعية الناتجة من هذه المناطق، في الوقت الحالي، قابلاً على العموم للقياس. ويختلف هذا التلوث كثيراً بحسب المنشأ وطبيعة المحصول، وكذلك تبعاً لمعايير الوقاية المعتمدة ولطريقة تطبيقها. وعلى سبيل المثال، إن مستويات تلوث المحاصيل الناتجة من المزارع الجماعية كانت أخفض من المحاصيل الصادرة عن المزارع الخاصة، وذلك بدون شك من جراء الرقابة المشدّدة والتعليمات الرسمية المتبعة جيداً. وقد سمحت الأراضي المحروثة، واستعمال المخصبات، واختيار الزراعات، وشروط تغذية الماشية بتخفيض مستويات التلوث بشكل ملموس جداً.

وبشكل عام، يبقى نشاط السيزيوم ^{137}Cs في المحاصيل النباتية والحيوانية من رتبة العشرات إلى مئات البيكرل في الليتر أو الكيلوغرام. غير أن قيماً أعلى، وحتى مرتفعة جداً، تلاحظ بشكل إفرادي، وخاصة في حالة الأراضي الحامضية، حيث يتثبت

السيزيوم فيها قليلاً مما يجعله قابلاً للتمثل بسهولة أكبر من قبل النبات بالامتصاص الجذري. كما تلاحظ أيضاً سويات أعلى في المحاصيل الطبيعية، وخاصة في الفطور حيث يمكن العثور على قيم فيها تتراوح بين 1000 إلى 10000 بيكرل/كغ.

وقد تأكدت هذه الملاحظة في نتائج حملة أجريت عام 1990 في نطاق مشروع للوكالة AIEA، تضمن قياساً مباشراً للتلوث بالسيزيوم ^{137}Cs في حوالي 9000 شخص. وكانت القيم بشكل عام من رتبة بضعة كيلوبيكرل ولكنها كانت تصل أحياناً، لدى بعض الأفراد، إلى سويات أعلى بمرتبة واحدة أو مرتبتين.

ومع ذلك لا يعتبر التشعيع الداخلي، المرتبط باستهلاك المحاصيل الغذائية، المصدر الوحيد للتعريض. فالتشعيع الخارجي، الناتج عن وجود ^{137}Cs المتوضع في التربة أو في الوسط بشكل عام، يسهم على نحو هام في التعرض الكلي. لكن هنا أيضاً تتروح تدفقات الجرعة (راجع المؤطر 1) في المناطق الملوثة بين 0.10 µSv/h، التي هي عملياً الخلفية الإشعاعية الطبيعية، و1 µSv/h في وسط طبيعي .وكانت سويات التشعيع الخارجي في المناطق المأهولة (القرى) أخفض كما كانت الجرعة الخارجية المتوسطة السنوية محدودة، بفضل الوقاية التي تحققها المساكن. وقد تأكد ذلك في حملة قياسات بأفلام قياس الإشعاع films-dosimètres حملها حوالي 8000 شخص خلال العام 1990، باستثناء بعض الأفراد الذين لم يتبعوا، على الأرجح، التعليمات المعطاة من قبل السلطات.

ومع الزمن يتطور هذا الوضع، وتميل مستويات تلوث المحاصيل الغذائية والتشعيع الخارجي إلى التناقص تدريجياً مع تلاشي ^{137}Cs (الانتقال في الأرض، والغسل، والتثبت بأشكال غير قابلة للتمثيل...).

ويُقدر لهذه الظواهر، على العموم أن تحدث بدورٍ من رتبة عشر سنوات، وهي قيمة تختلف حسب الشروط البيئية ولكنها تبالغ في القيمة الحقيقية وبالتالي فإنها تُزيد من هذا التقدير. وباستعمال هذه القيمة المقدرة بحوالي عشر سنوات في النماذج الملائمة، يمكن أن ترتسم الحالة الإشعاعية في المناطق الملوثة على مستوى عدة عقود. عندها يكون بالإمكان تقدير الجرعة التي سيتلقاها الفرد المقيم في المناطق الملوثة طيلة حياته.

ويعيش حالياً ما يزيد على 800000 مواطن، أوكراني وبيلوروسي وروسي، على مساحة 28000 كم^2 سجلت فيها توضعات من السيزيوم ^{137}Cs تزيد على 200 kBq/m^2. ويسكن ما يقرب من 600000 منهم في 1500 تجمع سكني مقامة على أرض ملوثة بمحتوى من السيزيوم يقدر بين 150 و500 كيلوبيكرل/م^2. وعلى الأراضي التي تظهر محتوى يزيد على 1500 kBq/m^2 ما زال يعيش أيضاً في حوالي مئة ناحية، في ضواحي غومل و موغيليوف Mogilyov (بيلوروسيا) [4].

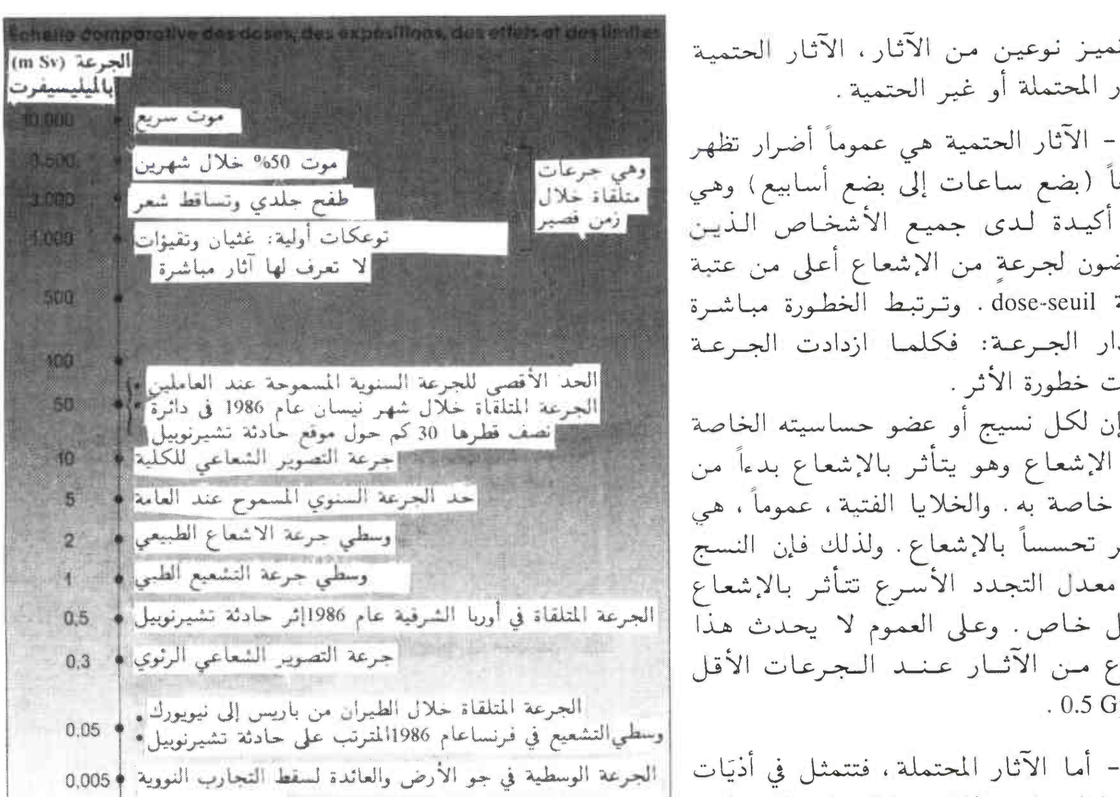
والأمر المهم الذي ينبغي معرفته بأعلى دقة ممكنة هو الخطر على صحة السكان المعرضين للإشعاع نتيجة الحادث؛ وأفضل تمثيل للخطر هو جرعة الإشعاعات المتلقاة بالفعل منذ عام 1986 والتي سيتم تلقيها أيضاً في المستقبل. وبالرغم من أن خرائط تلوث التربة كانت معروفة جيداً نسبياً، إلا أن الجرعات التي تلقاها السكان كانت مع الأسف أقل معرفة بكثير.

خضع السكان إلى أنماط مختلفة من التعرض: فتلقوا جرعات خارجية، مصدرها توضعات الجسيمات المشعة، التي بعثرتها الرياح في الجو، على التربة، وجرعات داخلية ناتجة إما عن استنشاق هذه الجسيمات الموجودة في السحاب المشع (أي أثناء انفجار المفاعل أو في الأيام التالية؛ راجع المؤطر 3)، وإما عن التغذي على منتجات غذائية ملوثة. وتنجم المركبة الدائمة للتشعيع الداخلي بصورة أساسية من السيزيوم ^{137}Cs المنقول بالطريق الغذائي. وتنجم المركبة الأخرى عن اليود ^{131}I وهو المسؤول عن تشعيع الدرق. وهذا التشعيع كان قصير الأجل بسبب قصر عمر هذا النكليد المشع.

ولقد تم تقدير الجرعات بأساليب مختلفة على مر الزمن: ففي السنوات الأولى التي تلت الحادث (1986 إلى 1990) أجريت قياسات جيدة على بعض الأفراد، لكنها كانت بعدد غير كاف ليمكن من استنتاج قيم منها قابلة للتطبيق على مجموع السكان. ولذا فقد قدرت الجرعات، في هذه الفترة، لاحقاً، مع الأخذ بعين الاعتبار مكان السكن، وخرائط تلوث التربة، والقياسات التي جرت على المنتجات الزراعية. إن المعرفة الدقيقة نوعاً ما للتعرضات التي أصابت الأشخاص في الماضي لا

المؤطر 2

آثار الإشعاعات المُؤيِّنة على جسم الإنسان*



نميز نوعين من الآثار، الآثار الحتمية والآثار المحتملة أو غير الحتمية.

- الآثار الحتمية هي عموماً أضرار تظهر سريعاً (بضع ساعات إلى بضع أسابيع) وهي آثار أكيدة لدى جميع الأشخاص الذين يتعرضون لجرعةٍ من الإشعاع أعلى من عتبة معينة dose-seuil. وترتبط الخطورة مباشرة بمقدار الجرعة: فكلما ازدادت الجرعة ازدادت خطورة الأثر.

إن لكل نسيج أو عضو حساسيته الخاصة تجاه الإشعاع وهو يتأثر بالإشعاع بدءاً من عتبة خاصة به. والخلايا الفتية، عموماً، هي الأكثر تحسساً بالإشعاع. ولذلك فإن النسج ذات معدل التجدد الأسرع تتأثر بالإشعاع بشكل خاص. وعلى العموم لا يحدث هذا النوع من الآثار عند الجرعات الأقل من 0.5 Gy.

- أما الآثار المحتملة، فتتمثل في أذيّات أو إصاباتٍ (سرطانات، لوكيميات (إبيضاض الدم)، آثار وراثية) يزداد خطر ظهورها كلما ازدادت الجرعة وهي رغم ذلك ليست مطلقاً إصابات نوعية خاصة بالإشعاعات (لأن الإصابات ذاتها قد تظهر بسبب سموم مختلفة؛ بمواد كيميائية وبتعاطي التبغ وبالتعرض للأشعة فوق البنفسجية... إلخ) ومن المقبول أنه لا توجد عتبة جرعة لهذه الظواهر وهي دائماً آثار متأخرة؛ فالسرطانات المحرَضة إشعاعياً لا تحدث إلاَ بعد فترة طويلة جداً (ربما عشر سنوات وأكثر). وقد تبيَن أنها تظهر عشوائياً بين السكان الذين تعرضوا للإشعاع: ولذلك هي آثار محتملة.

إن معاملات الخطورة (كاحتمال تحريض مرض السرطان بواحدة الجرعة) معروفة جيداً نسبياً. وتأتي هذه المعطيات من دراسات وبائية لمجموعات من الأفراد تعرضت للإشعاع، جرت مقارنتها بمجموعات لم تتعرض له، كسكان هيروشيما وناكازاكي الذين تعرضوا للإشعاع أو عمال مناجم اليورانيوم أو راديولوجيي (العاملين في التصوير الشعاعي) بداية القرن الحالي أو المرضى الذين تجري معالجتهم بالأشعة وغيرها.

ومن أجل الجرعات الأدنى من جرعة معينة تصبح هذه الآثار نادرة إلى حدٍ تستحيل ملاحظتها فيه. وهكذا لم نستطع التحقق من ظهور آثار ذات مدى بعيد (متأخرة) بين السكان الذين تعرضوا لجرعات في حدود بضعة أعشار السيفرت. أما بالنسبة للجرعات الأقل من ذلك كثيراً فلا يوجد أي دليل قاطع على حدوث الآثار الاحتمالية أو عدم حدوثها: إذ لم يسبق لنا مطلقاً قطَ أن استطعنا ملاحظة الآثار الوراثية عند الإنسان.

* سبق وأن نشر في مجلة عالم الذرة، العدد 22 لعام 1992، ص 98.

تعطي فائدة إلا إذا كانت مقاربة للملاحظات التي أجريت على الجماعات السكانية المعنية، في إطار الدراسات الوبائية.

ولم يتم القيام بعمل جدّي ورصين حقاً إلا خلال عام 1990، من قبل المسؤولين السوفييت، وخاصة معهد الفيزياء الحيوية في موسكو، كما في مشروع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية AIEA، من أجل جميع المناطق المعنية؛ فاعتباراً من قيم الجرعات التي تم الحصول عليها، تمّ حساب الجرعة ـ عمر la dose-vie، أي مجمل الجرعة التي جرى تلقيها والتي سيتم تلقيها طيلة 65 سنة (وهي المدة الوسطية لحياة الفرد) بعد الحادث. ويفترض أن يسمح تقدير الجرعات ـ عمر هذه بالحكم بضرورة اتخاذ وسائل الوقاية أو لا (بدءاً من التعليمات الخاصة البسيطة بعدم استهلاك بعض المنتجات، أو منع دخول المناطق الأكثر تلوثاً، وحتى إلى الإخلاء النهائي). ومن أجل المستقبل، يجب معرفة أن التقديرات تقوم على أسس نظرية غير مؤكدة بقدر ما هي ذات مدى طويل.

ولقد بيّن الاختصاصيون السوفييت، مثل الأكاديمي ل. ا. إلْيين L. A. Ilyin والبروفسور س. ت. بليايف S. T. Bélyayev، وكلاهما من معهد الفيزياء الحيوية في موسكو [5, 4]، أن الجرعات الفردية التي تم تلقيها بين الأعوام 1986 و1990 في «المناطق المراقبة بدقة» (أكثر من 500 kBq/m^2) تقدر بـ 35 mSv. كما تلقت بعض الفئات (مزارعون، حراجيون) جرعات تصل حتى 60 mSv. أما الجرعات التي تزيد على 150 mSv فلا تخص إلا حوالي 3000 شخص من أجل الفترة ذاتها. وتعطي التقديرات الأكثر احتمالاً قيماً وسطية للجرعة ـ عمر بين 100 و400 mSv حيث توجد مناطق أكثر تأثراً من الأخرى، مثل مناطق غومل في بيلوروسيا أو بريانسك Bryansk في روسيا. وفي إطار المقارنة، تقدر الجرعة ـ عمر الوسطية الناتجة عن التشعيع الطبيعي بحوالي 150 mSv، ويمكن أن تزيد قيمتها، في بعض المناطق، بمقدار مرتين أو ثلاث مرات.

ولقد أوصت السلطات السوفييتية بتحديد الجرعة ـ عمر بـ 350 mSv كمرجع (وهي القيمة المعدلة للحد النظامي خلال 70 سنة للعمل العادي)، وفوق هذه القيمة يجب القيام بإخلاء السكان. يسمح هذا القرار بتحديد كبر عدد السكان المعنيين، أي السكان الذين تزيد الجرعات ـ عمر لديهم على 350 mSv. ولقد قدّر عدد الأشخاص الذين يمسّهم هذا الإجراء، في عام 1991، بحوالي 50000 إلى 60000 شخص، وفي نهاية عام 1991 كان من المقدّر ترحيل جميع الأشخاص الموجودين في المناطق التي تجاوز التلوث فيها 1500 كيلوبيكرل/م^2 إلى مناطق سكنية أخرى، وكذلك العائلات التي تضم أطفالاً أقل من 12 سنة أو نساءً حوامل عندما يكون التلوث بين 500 و1500 كيلوبيكرل/م^2. واجمالاً، كان حوالي 220000 شخص معنيين بهذا التغيير في السكن.

ولقد سببت الكمية الكبيرة من اليود المشع، المنتشرة عند انفجار المفاعل، تشعيعاً للدرق لا يمكن إهماله، وكان من الصعب تقدير الجرعات التي تم تلقيها، وإن كانت القياسات المباشرة لليود المثبت في الدرق قد سمحت بدعم التقديرات النظرية. لقد بيّنت أول حصيلة بأن 17000 طفل شععوا بأكثر من 1 Sv في الدرق، و6000 طفل بأكثر من 2Sv، و500 طفل بأكثر من 10 Sv. ومن أجل 117000 شخص من المناطق المراقبة بدقة في بيلوروسيا وروسيا كانت الجرعة الدرقية المتوسطة 0.2 Sv عند البالغين. ومن بين 45000 طفل في المناطق المعرضة بشكل خاص في غومل و موجيليوف Mogilyov، سجلت أكثر من 300 حالة بلغت فيها الجرعة الممتصة في الدرق بين 10 و20 سيفرت، وأكثر من 700 حالة بين 5 و10 سيفرت، وأكثر من 2500 حالة بين 2 و5 سيفرت [5].

أما التأثيرات التي يُخشى منها لدى السكان المعرضين منذ عام 1986 فهي أمراض غير خطرة (كالقصور الدرقي والدُرينات الدرقية على سبيل المثال) أو خبيثة (كابيضاضات الدم والسرطان) أو أيضاً توريث الخلف عاهات وراثية (راجع المؤطر 2). ولقد نتجت المعارف المتوفرة عن الأمراض المحرضة إشعاعياً radio-induites من مراقبة مجموعات الأشخاص المعرضين للإشعاع، سواء مهنياً، أم أثناء المعالجة الشعاعية، أم إثر التعرض لقنبلتي هيروشيما وناكازاكي. وقد سمحت المتابعة الوبائية المنهجية منذ عدة عقود بتحديد فعل الإشعاعات وبتقدير أضرارها. وتوضح هذه المسألة بدقة منظمة علمية

دولية، هي اللجنة العلمية في الأمم المتحدة لدراسة تأثيرات الإشعاعات المؤينة [6].

إن للأمراض المحرضة إشعاعياً سمة مشتركة هي زمن لُطُوِّها temps de latence: ويمتد زمن اللَطْو لابيضاضات الدم عدة سنوات (أكثر الحالات تكراراً تحصل بعد حوالي 7 سنوات من التشعيع، أي، في حالة تشرنوبيل، حوالي عام 1993)، وفي حالة الأورام الأخرى بعد حوالي عشر سنين أو عشرات من السنين حيث يزداد تكرارها بانتظام مع الزمن. وتظهر اختلالات عمل الدرق أبكر من ذلك بكثير. وبعبارة أخرى، يعني ذلك أن الآفات الخبيثة الناتجة عن حادث تشرنوبيل يجب أن يبدأ كشفها الآن فقط.

وبالاعتماد على تقديرات الأخطار الناتجة عن الدراسات الوبائية هذه، يمكن القيام ببعض التوقعات بشأن تشرنوبيل. فهناك خطر نشوء سرطان محرَّض إشعاعياً، في الحالات التي يتاح متابعتها وبائياً، بنسبة 5% لكل سيفرت يتم تلقيه. وبما أن الوفيات بالسرطان في مجموعة عادية تقدر بحوالي 20%، فإن الاحتمال لدى المواطن المتوسط في بيلوروسيا أو أوكرانيا، الذي تلقى جرعة 0.1 Sv، ينتقل من 20% إلى 20.5%. فعلى سبيل المثال، في مدينة تعدادها 10000 نسمة، ستتجاوز الوفيات بالسرطان بين عامي 1996 و2056 العدد 2000 لتصل إلى 2050؛ وستكون ابيضاضات الدم بزيادة 6 حالات وسرطانات الدرق بزيادة 24 حالة (أكثر من عُشرها سيكون مميتاً) [1]. ويُبيّن ذلك الصعوبات في توضيح التأثيرات طويلة الأجل، ببيانات إحصائية صحيحة. وتتفاقم الصعوبات لانعدام المراجع (المعطيات) السابقة أو حتى المحدَّثة، ولبساطة الوحدات الطبية للتشخيص والمعالجة. وتشير المعطيات، التي في متناولنا الآن والآتية من الجمهوريات المتعرضة للحادث، بوضوح إلى أن التقصيات السريرية والحيوية جرت بشكل غير منظم وبدون تخطيط وبوسائل غير كافية وغالباً غير ملائمة، وأنه لا يمكنها أن تؤدي إلا إلى نتائج محدودة. وإن تقدير الخطر الوراثي هو أيضاً أكثر صعوبة؛ فتحريض العاهات في الخَلَف غامض للغاية عند الإنسان وتتطلب متابعته عدة أجيال. وأخيراً، إن خطر المضاعفات ذات الطابع الجسدي النفسي psychosomatique لا يمكن تحديده كمياً بشكل مسبق، سيما في حالة تشرنوبيل، لأن عوامل تحريضها عديدة ومعقدة.

وفي السنوات الأخيرة، حاولت منظمات دولية كبيرة توضيح الوضع دون أن تدعي بأنها تجري دراسات وبائية حقيقية لأن مثل هذه الدراسات لا يمكن الشروع فيها إلا بالدعم الكامل من السلطات في الجمهوريات المعنية بما في ذلك الوسائل الإدارية والفنية الكبيرة والدائمة، الأمر الذي لم يكن موجوداً في الواقع. لقد أجرت هذه المنظمات أعمالها بطريقة اختبار العينات ولا يمكن لنتائجها أن تعطي سوى لمحة عن الحالة الصحية الحالية بمحدودياتها في الزمان والمكان.

وتشمل المنظمات الكبيرة هذه منظمة الصحة العالية OMS، والصليب الأحمر، واللجنة العلمية في الأمم المتحدة لدراسة تأثيرات الأشعة المؤينة، ومنظمة التعاون والتنمية الاقتصادية، وهيئة من مجموعة الدول الأوربية، والوكالة الدولية للطاقة الذرّية [1, 6, 7, 8]. وبمبادرة من هذه الأخيرة سمح تقرير دولي بتحديد الوضع على نحو حديث وأكثر كمالاً. ويعطي هذا التقرير كافة النتائج الملاحظة على جماعات سكانية تعيش في المناطق الملوثة بشدة (أكثر من 500 kBq/m^2) ومقارنتها بالنتائج التي جمعت لدى سكان يعيشون في المناطق الخالية تقريباً من التلوث. وقد عنيت هذه الدراسة بشكل خاص بتقصيات الاضطرابات الدرقية عند أطفال ولدوا في عام 1986 وفي عام 1980 (بأعمار 5 و11 سنة)، وبالعلل والآفات الأكثر شمولاً لدى البالغين بين 40 و60 سنة. والنتيجة العامة، والمؤقتة أيضاً، أنه يوجد بالتأكيد في الجمهوريات الثلاث المعنية بالحادث مشاكل صحية بعدد أكبر. لكن يصعب عزوها بشكل مباشر لفعل الإشعاعات، لأنه لا يظهر أي فرق واضح بين المجموعات المعرضة والمجموعات الشاهدة غير المعرضة. إن هذا التدهور العام للحالة الصحية يرتبط إذن تماماً بالكارثة، لكنه إلى حد كبير لا يمكن أن يعود إلى تشعيع السكان إلا جزئياً.

وهناك المرضيات الثانوية في الكوارث الكبيرة المعترف بها طبياً منذ حوالي عشر سنوات؛ إنها مرضيات الكوارث pathologie des catastrophes (أو أمراض التوتر بعد الصدمة post traumatic stress disorder). وهذه المرضيات متنوعة جداً، وذات

المؤطر 3

تجولات سحاب تشرنوبيل

خلال الأيام العشرة التي تلت حادث تشرنوبيل، أنشأ انتشار النكليدات المشعة في الجو كتلاً من الهواء الملوث (تسمى غالباً «سحاب مشع») قادتها الرياح تبعاً لمسارات متبدلة حسب الظروف الجوية من أهمها:

- مسار دفع النشاط الإشعاعي نحو الشمال الغربي، باتجاه فينلندا والسويد، حيث اكتشف وصولها في 27 نيسان وتم الإعلان عنه لأول مرة؛

- مسار متجه نحو الغرب، ثم نحو الجنوب الغربي، كان مصدر تلوثات هامة في بولونيا، وتشيكوسلوفاكيا، وبدرجة أقل في ألمانيا وفي شمال إيطاليا. ووصل مخففاً جداً إلى فرنسا عبر جهتها الشرقية في الأول من أيار 1986؛

- مسار متجه نحو الجنوب، ووصل إلى رومانيا، وهنغاريا، وبلغاريا، وتركيا، واليونان. وكان النشاط الإشعاعي يتناقص شيئاً فشيئاً كلما ابتعد السحاب عن موقع المحطة النووية المصابة، بسبب تمددها في الكتلة الجوية من جهة، والتوضع على الأرض من جهة أخرى. وقد جرى هذا التوضع على طول المسارات واشتد بالمطر عند هطوله مؤدياً بذلك إلى «بقع» من التلوث. وكانت هذه التوضعات المصدر الأساسي لتعرض السكان المقيمين في المناطق التي حدثت فيها، إمّا من جراء التشعيع المباشر الناتج عن التوضعات بحد ذاتها، وإما من جراء انتقالها إلى المنتجات النباتية والحيوانية وبالتالي من انجبالها في الطعام.

وعندما وصل السحاب المشع فوق فرنسا، أظهرت القياسات المنظمة للنشاط الإشعاعي في الهواء مباشرة زيادة في قيمتها. فبالنسبة للسيزيوم ^{137}Cs، كان المستوى الموجود سابقاً، من رتبة ميكروبيكرل/م^3 هواء، ثم تجاوز في أيار 1986 قيماً من رتبة 0.1 إلى 0.2 بيكرل/م^3، مع وجود قيم قمّية وصلت من 1 إلى 10 بيكرل خلال عدة أيام. وقد عاد حالياً إلى نفس مستواه قبل حادث تشرنوبيل.

ولم يكن توزع التلوث في فرنسا منتظماً. ويمكن القول، إجمالاً، أن الثلث الشرقي كان الأكثر إصابة وإن الثلث الغربي كان الأقل إصابة.

واتبع التلوث المتتابع للمنتجات الغذائية تقريباً المخطط ذاته. ومنذ عام 1989، لم تعد تظهر تَبِعات للحادث في تلوث المنتجات الغذائية ذات المنشأ الوطني، مع الأخذ بالحساب مقدار الـ ^{137}Cs الموجود سابقاً، باستثناء بعض المنتجات الخاصة مثل السعتر أو بعض أنواع الفطور الحرجية.

علاقة بفقدان الفرد لضبط محيطه. وتسبب القلق، وحالات الاكتئاب، والأمراض الجسدية النفسية وهي المسؤولة عن التوترات العائلية، من طلاق، وازدياد تعـطي الكحول، والاسراف في تعاطي العقاقير، والعنف، والانتحار وغالباً اضطرابات السلوك بدرجات مختلفة. ولم ينج السكان المحليون والإقليميون من هذا المرض؛ فقد أشار الأطباء المحليون والاختصاصيون الأجانب الذين شاركوا بتحريات طبية، إلى حالة مزمنة من القلق والتوتر، مسؤولة عن آلام متنقلة، من أرق، ومن تخلف مدرسي، إلخ...، تعزى منهجياً إلى كارثة تشرنوبيل. كما أن فقدان الإعلام الموضوعي، والغياب الكلي للثقة تجاه السلطات في كافة المستويات (بما في ذلك السلطات الصحية) والذي له ما يبرره غالباً، وفساد الوضع الاقتصادي والاجتماعي، وعدم ثبات الخيارات السياسية أدت بمجموعها إلى هذه الحالة من الضيق النفسي détresse psychologique وضخمتها. وترتبط هذه الاضطرابات بنتائج الحادث الذي بدل ظروف الحياة العادية بشدة، بما فيها عمليات الإخلاء الضخمة وتغيرات العادات، وتفاقم سوء التغذية نتيجة الخوف والقلق. وتُجسّد هذه المرضية ضرراً صحياً حقيقياً وتخص كافة السكان الذين تعرضوا أو لم يتعرضوا للإشعاعات بجرعات هي بالنسبة للقسم الأكبر منهم، أقل ارتفاعاً مما يجب لتسبب الاضرار من النموذج الموصوف. وتعدُّ هذه المرضيات بالتأكيد النتيجة الأكثر خطراً لحادث تشرنوبيل.

وفي الواقع، اهتم الأطباء بتحري التأثير المباشر للإشعاعات على عدد من الوظائف والأعضاء، فكانت الغدة الدرقية في المقام الأول، نظراً للجرعات العالية التي تلقتها مجموعات كبيرة، والحساسية الخاصة لدى الأطفال، وللظهور المبكر لقصور الدرق المحرَّض شعاعياً ولوجود العوز اليودي في هذه المناطق، والذي من شأنه تعقيد الوضع. ولقد أجريت اختبارات بيولوجية عديدة جداً في أوكرانيا وبيلوروسيا (قياس هرمون TSH، وهو هرمون منشط يفرزه الفص الأمامي من الغدة النخامية، ويُعَدُّ دليلاً لعمل الدرق). غير أن متوسط معدلات هذا الهرمون لم يكن منخفضاً بمقدار كاف لتكون مسؤولة عن الاضطرابات الدرقية. وبالإضافة إلى ذلك، كانت التحريات المنهجية للقصور الدرقي أو للمرضيات الأخرى غير مثمرة. وكانت النتائج السلبية هذه أفضل المعلومات التي أمكن الحصول عليها من مصادرها المحلية والدولية. كما كانت الفحوصات السريرية والتصويرية بالصدى سوية، حتى لدى 8000 طفل من منطقة كاوزكايا Kauzhskaya، حيث تلقى الدرق جرع وصلت 10 Sv لدى البعض منهم. كما أن النتائج الأولى للمركز الأوكراني ـ الفرنسي، الذي تتبع في كييف منذ بداية عام 1991 مجموعة من عدة آلاف طفل رحلوا من بريبيات، أدت إلى النتيجة نفسها. غير أن حصيلة حديثة أُنجزت في بداية عام 1992، لم تكن مُطَمْئِنة بالمقدار نفسه. وقد قدم هذه النتيجة أطباء من بيلوروسيا إلى اختصاصيين غربيين (يعملون في كنف المجموعة الأوربية ومنظمة الصحة العالمية) وتتضمن هذه النتيجة زيادة هامة في عدد الدرنيات الدرقية عند الأطفال، وفي سرطانات الدرق، ولاسيما لدى الأطفال الذين كانوا دون سن الثالثة في عام 1986، مع وجود ذروة في عام 1990. لكن هذه النتائج لا تخص سوى عدد محدود من الأطفال وتتطلب تأكيداً وتوسيعاً على مجموعات سكانية أخرى، للتحقق بوجه خاص من دقة تشخيص الأمراض والتحليل الإحصائي الذي غاب على ما يبدو عن عناصر المقارنة. وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن استعمال وسائل تشخيصية متطورة غير مستعملة في الماضي، يخشى أن يؤدي إلى المبالغة في تقدير النتائج المنسوبة للحادث.

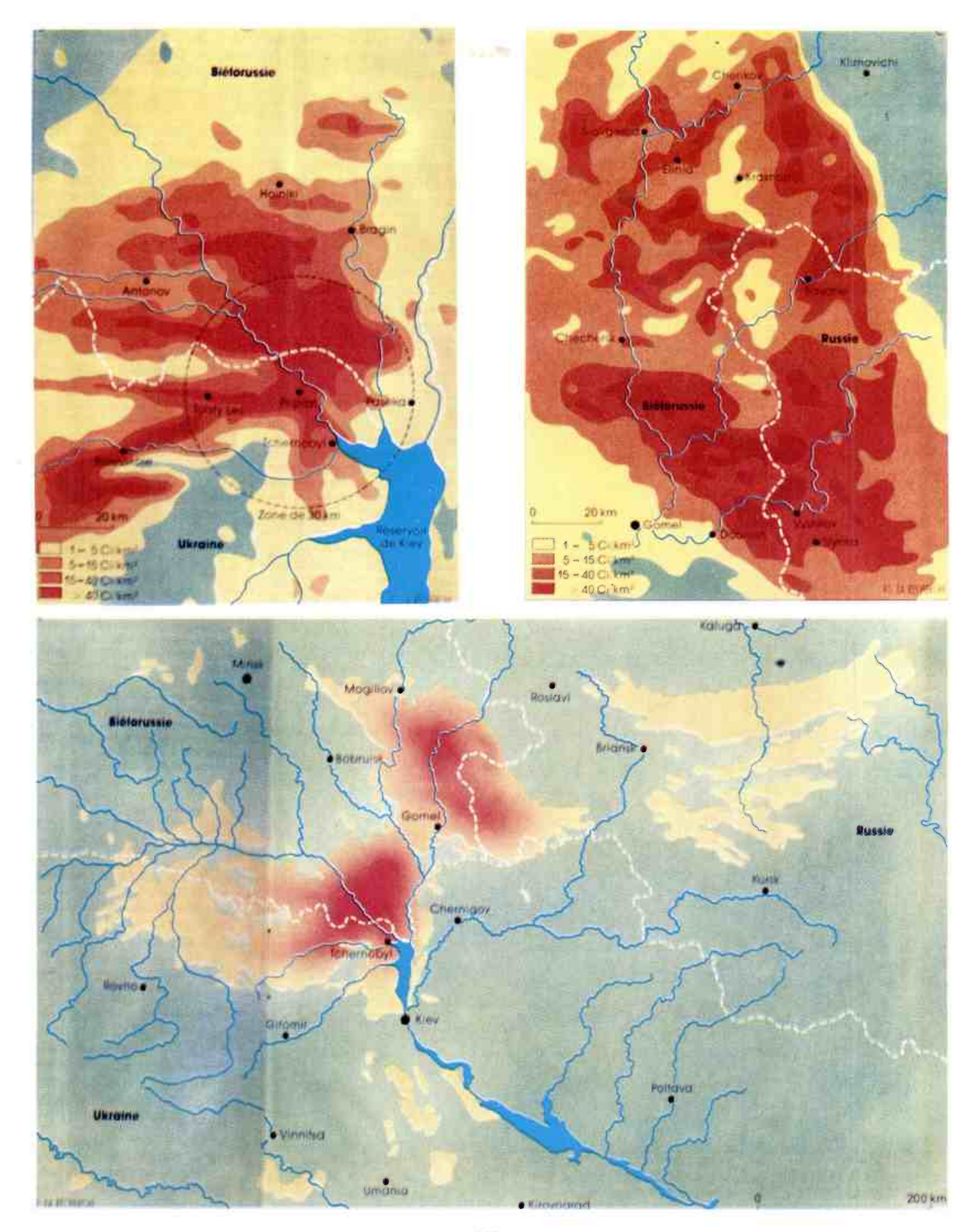
والنموذج الثاني من المرضيات التي تم تحريها بشكل خاص يتمثل بابيضاضات الدم، نظراً لحساسية الجهاز المكون للدم système hématopoïétique للإشعاع، ولأن تحريض ابيضاضات الدم أسرع من تحريض السرطانات الأخرى. وتتميز وبائيّات ابيضاض الدم بتواترها الطبيعي الثابت نسبياً، وهو حوالي حالة واحدة لكل 2000 طفل، وتظهر في السنوات الخمس عشرة الأولى من العمر. ولم تسجل أية زيادة لهذا المعدل خلال السنوات التي تلت عام 1986، كما لم يُسجل أي ميل للزيادة. وقد أكد الخبراء الدوليون هذه النتائج السلبية. وإن من السابق لأوانه دون شك استخلاص نتائج نهائية من هذه التحريات طالما أن الزيادة المنتظرة في ابيضاضات الدم ستبقى ضئيلة، وبالتالي يصعب كشفها وتتطلب أدلة أكثر أهمية. ويتعذر، في الوقت الراهن، تفسير الدلالات المحلية: فالمجموعات المدروسة صغيرة جداً على الأغلب ولا يمكن الحصول منها على نتائج ذات دلالة إحصائية، كما أن المجموعات الشاهدة مفقودة، إلخ...

ولم تُكتشف أية زيادة في التشكلات الشاذة في خَلَف النساء المشعَّعات أثناء الحمل. غير أنه لوحظت زيادة في الإجهاضات المفروضة طبياً في أوكرانيا بين عام 1986 و1987 وكذلك زيادة في الولادات المبكرة، ويعزى ذلك إلى التوتر النفسي وللشروط الصعبة التي يعيشها الأشخاص المرحَّلون.

إن تعذر جمع وجدولة مأموري التصفية يعيق أية حصيلة صحية

وتوجد مجموعة هامة جداً من الأشخاص تلقت جرعات مرتفعة نسبياً ولا تتوفر بشأنها المعلومات اللازمة: إنهم العمال الذين طمروا المفاعل والذين نظفوا الموقع، وهم المعروفون باسم «المصفيِّن أو مأموري التصفية Liquidateurs»، وعددهم 650000 عامل، عملوا بالتناوب وخضعوا لمراقبة قليلة الدقة في قياس الجرعة الإشعاعية.

وقد كانت بعض أعمال الأيام الأولى، مقترنة بوقاية مشكوك فيها، مسؤولة بالتأكيد، لدى بعض مأموري التصفية، عن جرعات بإمكانها أن تسبب تأثيرات متوسطة وطويلة الأمد. وبعد أن أدى كل عامل عمله عاد إلى مكانه الأصلي، مدنياً كان أم عسكرياً؛ وهؤلاء، حالياً، موزعون في الجمهوريات يتعذر بالتالي جمعهم وجدولتهم. ومع أن مركز



الشكـل 4- لقد وضعت خرائط توضعات العنصر المشع ^{137}Cs بشكل دقيق بما فيه الكفاية بعد الكارثة في الجمهوريات الثلاث المعنية بالتلوث الإشعاعي أكثر من غيرها.
الخرطة A تعطي فكرة عامة عن الإسقاطات في الاتحاد السوفييتي سابقاً. وقد قُدّرت النشاطات الإشعاعية بالكوري (Ci)، لكن يفضل حالياً استعمال البيكرل (Bq) (37=1 Ci مليار من البيكرل). وبالنسبة للسيزيوم ^{137}Cs، تقدر المساحة الإجمالية التي تجاوزت فيها فاعلية التوضعات القيمة $200\ kBq/m^2$ بحوالي $28000\ km^2$؛ وتزيد الفاعلية على $1500\ kBq/m^2$ في $3000\ km^2$ منها.
الخريطتان B وC تظهران التوزع التفصيلي لإسقاطات السيزيوم ^{137}Cs في منطقة تشرنوبيل (B) وفي بيلوروسيا وروسيا (C). (حسب المعطيات السوفييتية ومعطيات الوكالة الدولية للطاقة الذرّية في تشرين الثاني عام 1989).

أوبنينسك Obninsk صرح بأنه يقتني 43000 من ملفاتهم، يمكن اعتبار معظم مأموري التصفية غير خاضعين للدراسة والمتابعة. وهذا مؤسف لسببين: الأول من أجلهم هم، لأنهم خسروا حق المتابعة الطبية التي تسمح بالتشخيص المبكر للأمراض ذات الصلة بكارثة تشرنوبيل. والثاني، أن المجموعة العلمية فقدت تحري هذه النتائج والإفادة منها.

ويتعذر حالياً تحديد كافة تَبِعات كارثة تشرنوبيل. وهي ذات طبيعة معقدة ومختلفة للغاية: فهي قتصادية واجتماعية وبيئية وصحية. وقد حسبت النتائج الاقتصادية، لكن قيمها المباشرة وغير المباشرة تختلف حسبما يؤخذ بالحسبان المدى القصير أو المتوسط أو البعيد.

ففي المدى القصير، تُدرج كلفة المحطة النووية المنهدمة، بما في ذلك الموقع النووي المحكوم عليه بالإغلاق وكلفة الأعمال الضخمة الرامية إلى إبطال تلوث المناطق المجاورة. والجدير بالذكر أن المفاعلات الثلاثة المجاورة استأنفت عملها سريعاً (المفاعلان 1 و2 في تشرين الأول وتشرين الثاني من عام 1986، والمفاعل 3 في كانون الأول 1987 بعد الأعمال الضخمة لإبطال التلوث والإصلاح). وشب حريق في بهو عنفة المفاعل 2 في 10 تشرين الثاني 1991؛ وتسبب بخسائر كثيرة دون أن يؤثر مع ذلك في الجزء النووي. وقد قررت السلطات الأوكرانية إيقاف هذا المفاعل نهائياً. أما المفاعلان 1 و3 اللذان مازالا يعملان حالياً في موقع تشرنوبيل، فمن المفروض إيقافهما عام 1995 خضوعاً لقرار البرلمان الأوكراني.

يتضمن المدى المتوسط، كلفة الإجراءات اللازمة للعودة إلى شروط الحياة الممكنة والسوية في المناطق المجاورة، بما في ذلك إخلاء السكان وإعادة تسكينهم.

ويشمل المدى البعيد، الكلفة الإجمالية لإنشاء وسائل جديدة لإنتاج الطاقة لتخفيف النقص في هذا المضمار، ونفقة صيانة وتفكيك تابوت المفاعل والنتائج المباشرة على السكان. والتابوت عبارة عن بناء مؤلف من الاسمنت والفولاذ، ارتفاعه 50 متراً، مخصص لحصر الوقود في أنقاض المفاعل من أجل حماية البيئة. وقد أنجز في ظروف صعبة، وبغياب المعلومات الأكيدة عن تموضع الوقود، وتم الانتهاء منه في تشرين الثاني عام 1986. وفي عام 1989، أعلن عن وصف ما يحدث في داخل التابوت، وخصوصاً سيلان الحمم «Lave». وهذه الحمم مكونة من مزيج الوقود المشع والمعادن، والرمل وجميع المواد الملقاة على قلب المفاعل لإطفاء الحريق، وتتفكك ببطء وتحت تأثير الإشعاعات. وينتج عن ذلك انتشار مستمر بضجيج منخفض لرذيذات تتسرب من ثقوب التابوت الاسمنتي.

وبما أن البنى الموجودة تحت المفاعل تحمل أوزاناً لم تكن بالأساس محسوبة لها، أصبح من الضروري المحافظة على حالة التابوت الحالي عدة سنوات أخرى. كما طرحت منذ عام 1990، من جهة أخرى، قضية بناء تابوت ثان. ويوجد الآن نداء لتقديم عروض في هذا الشأن وهناك عدة خيارات يُنظر في أمرها.

أما النتائج الاجتماعية فيتعذر تحديدها؛ وهي بالتأكيد هامة جداً حتى أن البعض يعتقد بأن إدارة الأعمال السيئة لهذا الحادث ساهمت بظهور «البيريسترويكا». أما النتائج البيئية فهي أكثر وضوحاً بكثير. فالتأثيرات على البيئة القريبة من المحطة النووية، التي ظهرت في الأشهر الأولى التي تلت الحادث، آخذة بالتراجع جيداً وستتم العودة إلى الحالة العادية في السنوات القادمة؛ أما التأثيرات في المجال الزراعي والغذائي ـ الزراعي فتتطلب وقتاً أطول لتتناقص، لكن تغييرات أنماط الزراعة أو استخدام التربة لا ينبغي أن تؤدي إلى خسارة كبيرة على المدى البعيد. وفيما يخص النتائج الصحية، فإن تقديرها على المدى البعيد أشد صعوبة بكثير ويتطلب متابعة طبية شديدة التدقيق في التفاصيل ولمجموعات سكانية كبيرة. كما ينطوي ذلك أيضاً على عامل نفسي لا يمكن إهماله، ومن المنتظر أن يخف مع الزمن. والدراسات الوبائية، وحدها المعتمدة على جماعات سكانية محددة جيداً، ستسمح بتقدير التأثيرات المباشرة على الصحة. ولا يتحقق الحل إلا بالاستخدام السريع لهيئات تقوم بالتقصي والرعاية والدراسات ويعمل فيها معاً اختصاصيون وأطباء محليون بالمشاركة مع اختصاصيين من المنظمات الدولية.

وبالرغم من التصريحات عن النوايا المعلنة من قبل الجهات المختلفة، فقد بقي مع الأسف كل شيء على حاله. ويخشى، بعد مضي 6 سنوات، من عدم

القدرة على استدراك التأخير الذي جرى إلا بصعوبة كبيرة، ومن فقدان عدد من المعلومات الثمينة بشكل لا يعوض.

تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة La Recherche للسماح لها بترجمة هذا المقال ونشره.

المراجع REFERENCES

[1] Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), *The international Chernobyl project, an overview. Assessment of radiological consequences and evaluation of protective measures,* Report by an International Advisory Committee, IAEA, Vienne, 1991.

[2] R. M. Alexakhin, *Radioecological problems of nuclear power industry,* Atommya Energia USSR, mai 1989, traduit du Russe.

[3] Sociélé nucléaire de l'URSS, *Impact radioécologique de L'accident de Tchernobyl,* 1991.

[4] S. T. Belyayev, V. F. Demin, «Les conséquences à long terme de Tchernobyl. Les contremesures et leur efficacité», Actes de lá conférence internationale sur les accidents nucléaires et le futur de l'énergie, Leçons tirées de Tchernobyl, avril 1991, SFNEN, 235, 1991.

[5] L. A. Ilyin, «Public dose burdens and health effects due to the Chernobyl accident», Actes de la conférence internationale sur les accidents nucléaires et le futur de l'énergie, Leçons tirées de Tchernobyl, avril 1991, SFNEN, 1, 1991.

[6] Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR), *1988 Report to the general Assembly, with annexes,* United Nations, New York, 1988.

[7] League of Red Cross and Red Crescent Societies, *Report on assessment mission to the areas affected by the Chernobyl disaster,* USSR., février 1990.

[8] Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *Chernobyl data evaluation for accident consequence assessment. A survey conducted by an OECD/NEA Group of Experts* SINDOC (89) 26, 1989.

الكلمات المفتاح Key Words

1- Tchernobyl .... تشرنوبيل
2- radionucleotides .... نكليدات مشعة
3- radioactivity .... النشاط الإشعاعي
4- radiations .... الإشعاعات
5- radioactive fallout .... الإسقاطات المشعة
6- ^{137}Cs .... السيزيوم 137
7- ^{131}I .... اليود 131
8- radioactive cloud .... السحاب المشع
9- catastrophic pathogenes .... مرضيات الكوارث
10- radio-induced hypothyroid .... القصور الدرقي المحرض شعاعياً

أخبار متفرّقة

أخبار الذرّة في بعض المجلات العالمية

1- وأخيراً وجدوه! ★

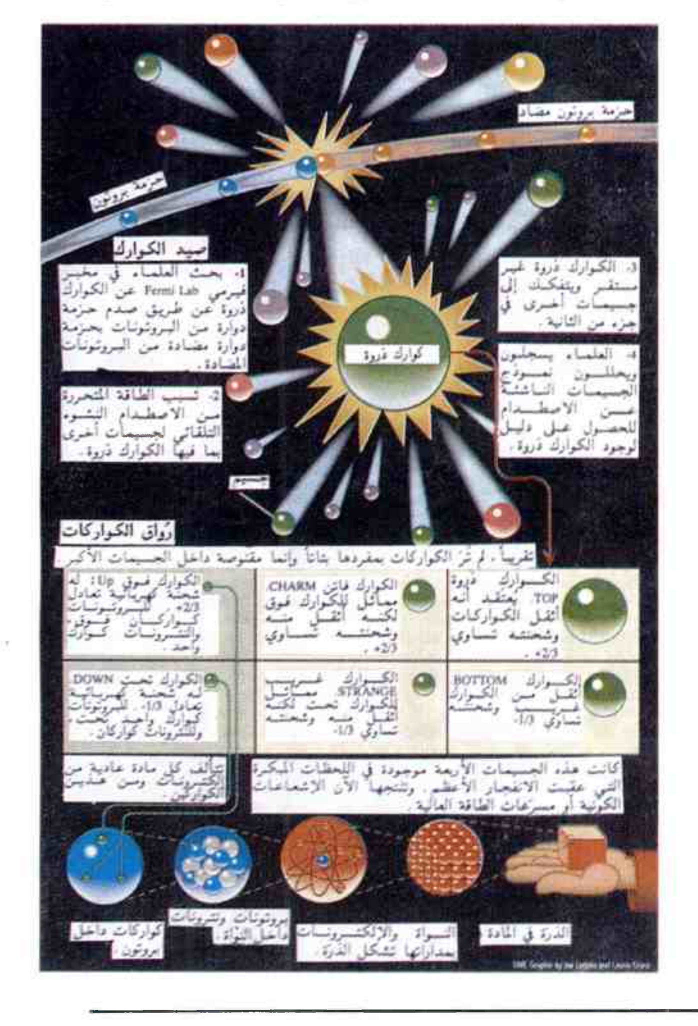
بعد سبعة عشر عاماً من البحث، يعتقد الفيزيائيون أنهم عثروا على لبنة مفقودة من اللبنات المكونة للمادة.

كلما طالت فترة نجاح الكوارك «ذروة» في التملّص من القنص، كلما ازداد تعلّق متعقبيه بأهمية اصطياده، فليس عجباً أن أطلق عليه في يوم من الأيام اسم حوت الفيزياء الأبيض العملاق. والذروة في العالم تحت الذرّي كانت، باعتقاد العلماء، الكوارك السادس والأخير من الكواركات ـ وهذه الكواركات جسيمات شبه نقطية تكوّن لبنات البناء الأساسية للمادة. ومع مرور السنين أصبح الإخفاق في العثور على الكوارك ذروة مصدر رعب وارتباك بالنسبة للنظريين الذين جزموا بوجوده.

إلا أنه تردد في الأسبوع الأول من أيار 1994 في العالم صدى المرادف العلمي لعبارة «thar she blows»، حيث جاءت الأخبار من عدة مئات من الباحثين عن الجسيمات، الذين يعملون في مختبر المسرّع الوطني «فيرمي»، قرب شيكاغو، إذ قدموا دليلاً قوياً على ظهور سطحي قصير لإثني عشر كواركاً وليس لكوارك واحد فقط من الكواركات ذروة وذلك داخل كاشف ضخم في مختبرهم.

وبقي من الواجب تأكيد المشاهدات الأولى لهذه الغنيمة التي طال البحث عنها. وما إن يتمّ ذلك، حتى يبلغ الفيزيائيون واحدة من أغنى حقب الاكتشاف في تاريخ العلم، كما أنهم سوف يثبتون أهلية الثقة التي وضعوها في ما يدعى النموذج المعياري الذي هو صرح نظري ضخم، قام مرة بتخفيض عدد كبير مذهل من الجسيمات تحت الذريّة إلى بضعة مكونات أساسية فقط. يشمل ذلك ثلاثة أزواج من الجسيمات الخفيفة المعروفة باللبتونات التي من أشهرها الإلكترون سالب الشحنة، والنترينو عديم الشحنة، وكذلك ثلاثة أزواج من الجسيمات الأثقل المعروفة بأسمائها الغريبة ألا وهي الكواركات. تتحد الكواركات «فوق up» و «تحتdown» لتشكل البروتونات والنترونات، وهي مركبات المادة العادية. بينما تتعاون الكواركات «فاتن charm» و «غريب strange» لصنع جسيمات أكثر غرابة، وهي النوع الذي تنتجه في الفضاء العميق، الكوازارات والإشعاعات الكونية عالية الطاقة. عندما اكتشف الفيزيائيون في عام 1977، الكوارك الخامس المسمى «قاع bottom»، استنتجوا وبسرعة أنه يجب أن يكون له شريك أيضاً.

وقد أثبت هذا الشريك أنه يستحق سنوات من البحث. إذ أن سماته الظاهرة تحمل تلميحات محيّرة



★ عن مجلة May, 9.1994, p,53 , *Time* , تأليف J.Madeleine Nash - شيكاغو - الولايات المتحدة - ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر ومراجعة لجنة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية

إلى عالمٍ مصغر لايمكن سبر غوره. عالم قد يكون مأهولاً بجسيمات أغرب من تلك التي اكتشفت حتى هذا الحين. بالنسبة للكوارك ذروة فهو ثقيل بشكل استثنائي، وبدقة أكثر، هو أثقل من البروتون بـ 200 مرة، إذ يعادل ثقله ثقل ذرّة كاملة من الـذهب تقريباً. ويقول هـ. فريش H. Frisch من جامعـة شيكاغو:«إنه لأمر محيّر أن يصل وزن جسيم ثانوي إلى هذا القدر من الكبر». وهذا يوحي أن الكوارك ذروة منضفر، بشكل معقد، بالآلية الغامضة المسؤولة عن إعطاء كتلة.

والسؤال المحيّر: لماذا تكون بعض الجسيمات، كالكوارك ذروة، بهذا الثِقل بينما تكون الجسيمات الأخرى، كالفوتون، بدون كتلة أبداً؟ وإن التفسيرالمرجّح لهذا اللاتناظر المدهش يذكرنا بفئة من الجسيمات الافتراضية، تعرف ببوزونات هيغز، والتي يُظن أنها تغمر الكون كضباب كثيف. يمكن أن تقارن إلى حد ما، القوة التي يطبّقها حقل جسيمات هيغز هذا، بشدة الثقالة الأرضية. فالفوتون عديم الكتلة يسبح في حقل هيغز كما لو كان غير موجود، في حين تخضع باقي الجسيمات لقوة جرّ كبيرة تكسبها وزناً في جوهرها. إن معرفة كتلة الكوارك ذروة لابد وأن تساعد في تكملة المخطط التمهيدي الأول لبوزون هيغز، الذي وضعه النظريون، كما توحي إلى التجربتين، بطرق ماهرة للبحث عنه. ويذهب الفيزيائيون أبعد من ذلك، حيث يتوقع بعضهم احتمال تحوّل جسيمات هيغز لتصبح زوجاً غير شفعي، ناتجاً من اتحاد الكوارك ذروة مع توأمه المضاد. يتساءل ك. هيل Ch. Hill، أحد فيزيائيي مخبر فيرمي:«هل الكوارك ذروة هو الانسان الثلجي ييتي Yeti»، مشيراً بذلك إلى المخلوق الأسطوري الذي يقال إنه موجود في الهيمالايا العليا، «أم هل هو آثار أقدام هذا المخلوق؟. في الحقيقة، نحن لانعرف الإجابة عن هذا السؤال. وإن مانعرفه هو أن النموذج /المعياري/ غير كامل ليس إلا»

عندما بدأ الفيزيائيون بتصميم الكاشف المصادم في مخبر فيرمي CDF، منذ قرابة عقدين، لم يكن لديهم أدنى فكرة عن أن البحث عن الكوارك ذروة قد يطول ليصل إلى هذا الحد. فقد توقع النظريون ألا يتجاوز حجم الكوارك ذروة ثلاثة أضعاف حجم شريكه الكوارك «قاع bottom»، مما يضعه ضمن مجال مسرّعات الجسيمات التي كانت متوفرة في الولايات المتحدة وأوربا آنذاك. لقد ادعى، في عام 1984، ك. روبيا C. Rubbia ومساعدوه في المركز الأوربي للبحوث النووية CERN قرب جنيف ـ سويسرا، أنهم اكتشفوا الكوارك ذروة، إلا أنه تبيَن أن هناك خطأ ما. في نهاية عام 1990، وعلى الرغم من توفر كل شيء لباقي المسرّعات، إلا أنها كفت عملياً عن اصطياد الكوارك ذروة وترك العمل لمصادم تيفاترون Tevatron مخبر فيرمي، الذي كان ومازال من أقوى المصادمات.

تَطَلَّب اصطياد الكوارك ذروة جهـود عمل مكثفٍ لـ 440 فيزيائياً من 36 معهداً في خمسة بلدان. فقد أمضوا ست سنوات في بناء كاشف عملاق، هو عبارة عن كتلة من الفولاذ والإلكترونيات، تزن خمسة أطنان ويزيد ارتفاعه على ثلاثة طوابق. تجثم هذه الأداة الضخمة والغريبة داخل النفق الدائري للتيفاترون الذي يبلغ طوله 6.4 كم. وفي مركز الكاشف المجوّف، نجد البروتونات والبروتونات المضادة التي سرّعت إلى مايقارب سرعة الضوء، يصطدم بعضها ببعض بعنف آلاف المرات في الثانية. تولّد مثل هذه التصادمات كميات كبيرة من الطاقة تبدو على شكل نوافير متألقة من الجسيمات قصيرة الأجل، التي تومض آثارها عبر شاشات الكمبيوتر. ومن خلال البحث بين هذه الومضات، توصل العلماء أخيراً، إلى اكتشاف الكوارك ذروة الذي يعتقدون أنه أحد خلائق الطبيعة البدائية السريعة الزوال.

يُزعم أن الكواركات ذروة الأصلية قد نشأت من البحر العكر للإشعاع البدائي الذي أعقب الانفجار الأعظم بزمن أقل من جزء واحد من تريليون★جزء من الثانية. وما إن اتسع الكون وتبرّد حتى اختفت جميعها تقريباً. أما الآن فلا تظهر الكواركات بشكل طبيعي إلا في شروط معينة. ولاستحضارها يتوجب على العلماء أن يخلقوا الشروط النارية التي أعقبت الانفجار الأعظم من جديد، وهذه ليست مهمة

★ تريليون هو العدد 10^{12} في الولايات المتحدة وفرنسا، والعدد 10^{18} في بريطانيا وألمانيا.

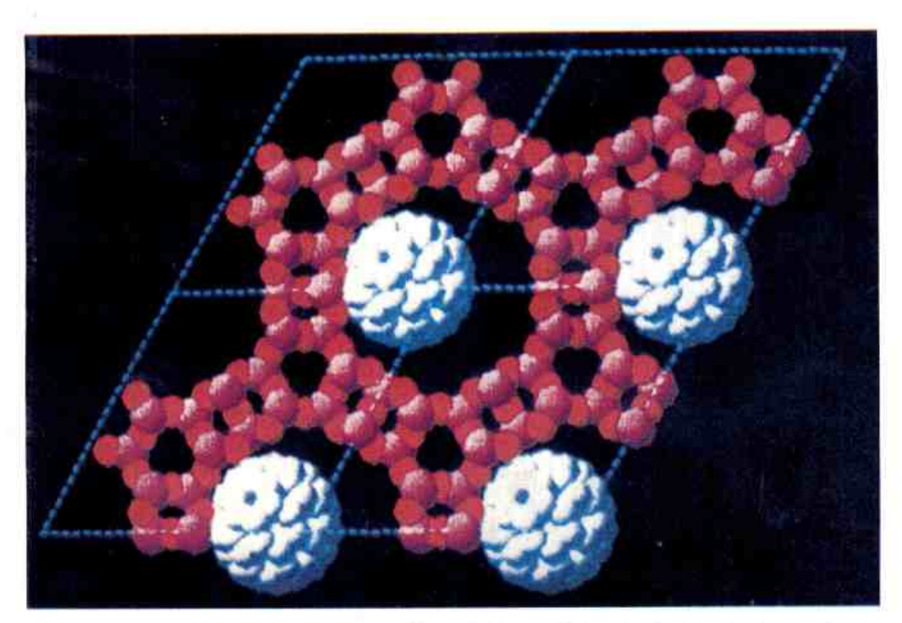
سهلة. ونظراً لأن الكوارك ذروة ثقيل للغاية فلا يقدر على انتاج الجسيم سوى الاصطدامات الأعلى طاقة من التيفاترون. أضف إلى ذلك أن عمر ملك الكواركات هذا، متناهٍ في الصغر فلا يمكن الاستدلال على وجوده إلا عن طريق الآثار الضئيلة لجسيمات أخرى يتفكك إليها فوراً. وهكذا فإن الكشف الذي صممه علماء مخبر فيرمي يتألف من أكثر من 100 000 جزء، كل واحد منها معدّ لأن يقتفي أثر أنماط مختلفة من الجسيمات. فعلى سبيل المثال، يُستخدم مغنطيس فائق النقل لقياس طاقة الإلكترونات والميونات. وكلما قلّ انحناء هذه الجسيمات المشحونة بفعل الحقل الكهرمغنطيسي، كلما كانت أكثر طاقة، وبالتالي زاد احتمال نشوئها عن الكوارك ذروة.

من بين الأجزاء الأكثر حيوية في مصادم CDF، الإلكترونيات السريعة التي تقوم بعملية فرز سيول من المعطيات الواردة، فتقوم للتو بفصل الثابتة عن غير المألوفة. ويعلّق م. كامبل M. Campbell، أحد فيزيائيي جامعة ميتشيغان، قائلاً: «نحن كمن يبحث عن إبرة في أكوام من القش، ولكي نجدها علينا أن نعالج أكوام القش كل ثانية». وعلى سبيل المثال، جرى داخل مصيدة الجسيمات الكبيرة في CDF، خلال مرحلة العمل التجريبي الأخير، عدد كبير من الاصطدامات بين البروتونات والبروتونات المضادة بلغ 1 تريليون. وبالرغم من ذلك، فقد بيّنت الحوافظ الإلكترونية للكاشف أن الأمل معقود فقط على 16 مليوناً منها، وتستحق تحليلاً أكثر تفصيلاً. وقد جرت عملية غربلة أخرى بينما كانت مجموعات من الحواسب تقوم بفحص عشرات الآلاف من القياسات التي كانت ترافق كل اصطدام مشيرة فقط إلى أكثرها أهمية. ومن هذا كله، ظهرت دزينة من الكواركات المرشحة لأن تكون كواركات ذروة. قال و. كاريثرز الأصغر W. Carithers Jr. وهو فيزيائي من مخبر لورنس بركلي في كاليفورنيا، معلقاً على سبيل الفكاهة: «لو كانت الاصطدامات كالدولارات، فالعملية سوف تبدو كما لو أننا بدأنا بالميزانية الفيدرالية بأكملها وانتهينا بالحصول على 12 دولاراً.

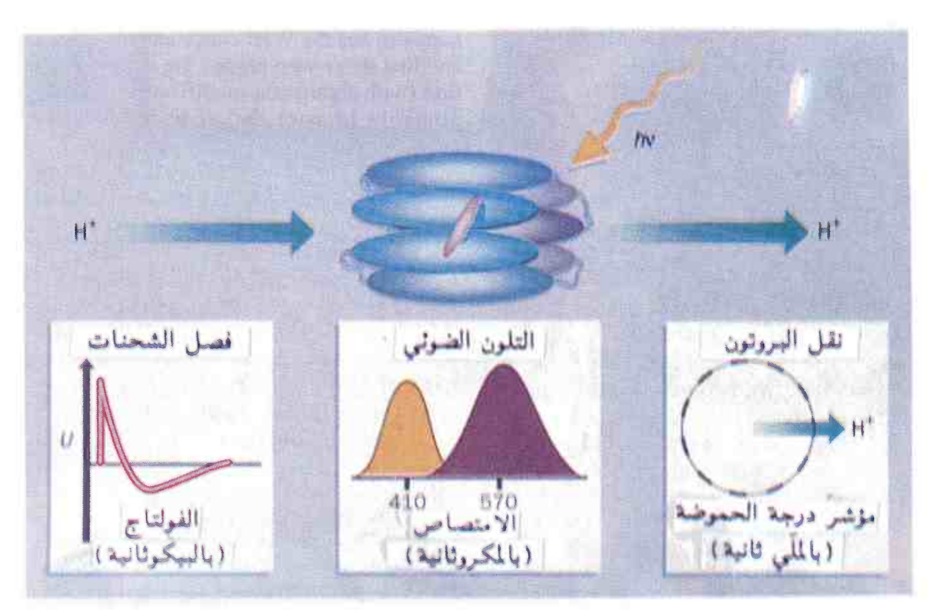
لقد علّم البحث عن الكوارك ذروة صيّاديه المعنى الحقيقي لكلمة ماراتون (سباق القدرة على الصبر والاحتمال). إذ يقول ج. هوث J. Huth وهو فيزيائي من جامعة هارفرد «لقد كان شعار حياتي لفترة طويلة أن هناك معنى للانهاك». فالوقت الذي أمضاه العلماء سابقاً بالعمل مستخدمين الكاشف، يستغرقونه الآن بالاجتماعات التي يبلغ عددها حوالي 20 اجتماعاً في الأسبوع. وعندما يلتقي فريق CDF يلتئم حشد كبير في قاعة الاجتماعات العامة في مخبر فيرمي، وفي بعض الأحيان تكون نتيجة ذلك جلبة كبيرة. فورقة البحث التي يبلغ عدد صفحاتها 152صفحة، والتي تحمل إثبات وجود الكوارك ذروة، قد أرسلت منذ فترة قصيرة إلى مجلة *Physical Review*، وكان من الممكن أن تقدَم قبل شهرين لولا التساؤلات التي أثارها أعضاء هيئة البحث الذين صعقوا بالنتائج، مما أدى إلى تعزيز روح البحث وبالتالي إدخال المزيد من الإيضاحات عليها.

ومايخشاه بعض علماء CDF حتى الآن، هو تغاضيهم عن خطأ قد يكون فادحاً، إذ يعتقدون أنه لايزال هناك احتمال نسبته 400/1 بأنهم ربما كانوا مخطئين، الأمر الذي يبدو بسيطاً جداً بالنسبة للأشخاص العاديين. لكن من الحكمة أن نتذكر أن الأمور الشاذة التي تبدو كرهان قوي في حلبة سباق ما، ليست كافية لدعم الادعاءات العلمية. ولابد أن يتلاشى الشك المتبقي على مر الشهور القادمة، عندما يتم تجميع المزيد من المعطيات ليس فقط عن طريق CDF وإنما عن طريق كواشف منافسة تدعى DZero، إذا اعتمدنا مايعتقده معظم الفيزيائيين من أن الكوارك ذروة موجود هناك فعلاً، فإن الأضواء ستتركز عليه تدريجياً، وإلا فإن ذلك سيولّد اثارة كبرى، لأنه إذا لم يكن الكوارك ذروة هو الذي يُحدث ظهور الجسيمات المفاجيء داخل أعماق الكاشف، فما يكون هذا إذاً؟.

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *Time* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.



الصورة 1- تشكل فسفات الألمنيوم المسامية (أحمر) سلسلة ربط وسياج مع القنوات التي حبست الفلرين ذا القطر 1nm مشكلة مادة مركبة تصدر الضوء.



الصورة 2- يتألف الباكتريورودوبسين من 248 حمضاً أمينياً مرتبة في سبعة حلازين نمط α (أزرق) وبقية (جذر residue) من الـ retinylidene مرتبطة برابطة تكافؤية (أرجواني). يؤدي امتصاص فوتون إلى نقل بروتون من خلال الفوهة البروتونية في الباكتريورودوبسين. وتقسم هذه العملية إلى: (1) تغير إلى حالة تماكب بدئية وفصل شحني في سلم زمني من رتبة البيكوثانية، (2) تبدل لوني عكوس في سلم زمني من رتبة الميكروثانية، وأخيراً (3) نقل بروتوني يمكن اقتناؤه بواسطة مؤشرات pH. وتتطلب دورة تامة من النقل البروتوني للباكتريورودوبسين نحو 10 ملّي ثانية. إن كلاً من هذه الظواهر الأساسية ذات استخدام تقني فعال.

2- تصدر مركبات الفلّرين المحصورة ضوءاً أبيضَ عند إثارتها بالليزر*

عرض الباحثون من جامعة مانشستر، معهد العلوم والتكنولوجيا (UMIST، مانشستر إنكلترا) على أنه عند إثارة مركبات الفلّرين المحصورة بضوءٍ أزرق من ليزر إيون الأرغون فإنها تصدر ضوءاً أبيضَ. إذ طرحت هذه الملاحظة إمكانية الحصول على مجموعة جديدة من مواد ليزرية وأخرى إلكترونية ضوئية جديدة.

إن كرات باكي أو الفلّرين هي مركبات كربونية تكون فيها ذرات الكربون مرتّبة نفسها في بنى قفصية كروية (سميت بذلك الاسم لكونها تشبه القبب الجيودوزية التي تخيلها وصوّرها باكمنسترفولّر).

يمكن لهذه الأقفاص أن تحوي أعداداً مختلفة من ذرات الكربون، وقد استعمل فريق UMIST قفصاً ذا ستين ذرة من الكربون (C_{60}) مع أنه يمكن استعمال أقفاص كربونية أخرى تحوي 82,76,70 أو 84 ذرة كربون.

ومن الصعب استنتاج الخواص الفيزيائية والكيميائية لجزيئات الفلّرين بسبب بُناها الكروية الكبيرة والفريدة من نوعها.

ليس من السهل إجراء بحوث تجريبية على كرات الكربون لأنه ينبغي أولاً الحصول عليها، ولذلك قام فريق UMIST بتوليدها بواسطة مولد الفلّرين، كما أنه يصعب التحكم بها لحظة توليدها لأن هندستها الجزيئية تجعل الكرات تهتز وتدور بسرعة. ومامن طريقةٍ سهلةٍ نستطيع بها الحفاظ على الجزيئات في موضعٍ واتجاهٍ معينين.

قامت مجموعة من الكيميائيين في UMIST برئاسة د. لِيْ D.Leigh بالبحث عن طريقة لحصر الفلّرين، وذلك من أجل إجراء دراسات كيميائية أخرى موسّعة عليه. إذ اقترح زميل له وأسمه ميشيل أندرسون M. Anderson، أنه يمكن استخدام قنوات مسامية من فسفات الألمنيوم تسمى (VPI-5) لحصر الفلّرين (انظر الصورة رقم 1 صفحة 72).

يستعمل VPI-5 كالزيوليتات، كوسيط مبادل إيوني وكذلك في إزالة عسرة الماء. تحوي هذه المواد قناة بقطر 1.25nm في حين قطر كرة الكربون 60 هو 1nm، وبالتالي يمكن حبس كرة C_{60} في قناة بحيث يكون لها في هذه القناة درجة حرية واحدة فقط. ويقترح الباحث أندرو مودي A. Moody بأن هذا التأثير مشابه لكرة تنس تتحرك في أنبوب.

أشار تحليل المادة بعد دمج الفلّرين فيها إلى أن ثلث قنوات VPI-5 مليئة بكرات الفلّرين C_{60}. ولتحديد طبيعة التركيب المضبوط لمركب الفلّرين VPI-5، تم تشعيع هذا التركيب بضوء ليزري أزرق Ar^{+}laser. يعطي شكل الفلّرين البلوري النقي إصداراً ضعيفاً في مجال تحت الأحمر، وذلك عند إثارته بليزر إيون ـ الأرغون بالطول الموجي 458nm. ومن المدهش أنه عند إثارة الفلّرين المحصور فِي أقنية VPI-5 بالليزر ذاته فإنه يعطي إصداراً قوياً وعريضاً على كامل الجزء المرئي من الطيف. وهذا الطيف المنسجم هو طيف عريض ويبدو أنه لايتغير مع تغير درجة الحرارة إلا قليلاً. وقد افترض لِيْ أن سبب التغير في خصائص الإصدار هو تأثير الحصر الكمومي لإلكترونات الفلّرين من قبل VPI-5 وهذا يشبه ماتمت ملاحظته في السيليكون المسامي.

وعلى الرغم من أن العمل في مراحله الأولى فقد قام فريق البحث مؤخراً بتحديد بعض التطبيقات الممكنة لهذه المواد الجديدة. اقترح لِيْ استعمال هذه المواد كمواد ليزرية جديدة أو كنماذج جديدة للشاشات الضوئية. وتجري الآن بحوث أخرى موسعة لمعرفة إمكانية استعمالها كمواد تتألق كهربائياً بدلاً من إثارتها بالضخ الضوئي. ويهتم الفريق أيضاً بالبحث عن هذا الأثر في الفلّرينات الأخرى غير C_{60}.

3- بروتينات مقاومة للحرارة **

لقد تم استثمار البروتينات لأهداف تقانية بصورة متزايدة، مثلاً في الحاسات الحيوية Biosensors

*من مجلة Laser Focus World, September,1993، تأليف Bridget R. Marx. ترجمة الدكتور عبد الوهاب علاف ـ قسم الكيمياء ـ مراجعة وتعديل لجنة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

** من مجلة Nature, Vol.366,4 November, 1993,p 2، تأليف Norbert Hampp، ترجمة الدكتور أحمد عثمان ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية ـ هيئة الطاقة الذرية السورية.

والكواشف الحيوية Bioreactors. ولكن تتطلب بعض هذه التطبيقات درجات حرارة عالية أثناء العمل (فوق المائة درجة مئوية)، وهي درجات تتشوه فيها معظم البروتينات. وإن أحد البروتينات المستعملة في مثل هذه الظروف هو الباكتريورودوبسين bacteriorhodopsin كما يذكر ذلك شين Shen وآخرون في الصفحة 48 من هذا العدد[1]. لقد وجدوا أن الباكتريورودوبسين يبقى ثابتاً تركيبياً حتى درجة 140 مئوية عندما يكون على شكل أفلام رقيقة جافة. إن هذه نتيجة مدهشة ومشجعة لجوانب جديدة في البحث تجري على هذا المركب ـ استعماله في المعلوماتية الضوئية.

عند الاقتراب جداً من سان فرانسيسكو، يشاهد المرء منظراً خاصاً أخاذاً لكثافة انتشار الأحواض الملحية الأرجوانية اللون في منطقة الخليج. وقد تبين في السبعينيات أن اللون يعود لدرجة كبيرة إلى بروتين من بروتينات شبكية العين يمكن عزله من باكتيريا (جراثيم) تعيش في ظروف المحلول الملحي المشبع القاسية الحاوي على القليل من الأوكسجين المنحل [2]. ولقد أصبح العيش في مثل هذا المأوى الايكولوجي «البيئي» ممكناً لأن باكتيريا الـ Halobacterium salinarium (دعيت سابقاً H.halobium) قد طورت خلال مسيرة التطور النوعي مجموعة من البروتينات التي تمكنها من استعمال أشعة الشمس مباشرة كمصدر للطاقة. إن البروتين المفتاح في التركيب الضوئي لهذه الجراثيم هو الباكتريورودوبسين. وإن عدة عشرات آلاف الجزيئات من هذا البروتين تشكل شبكة بلورية ثنائية البعد في الغشاء الخلوي على طول مسافة تعادل (500-1000) نانومتر قطراً و5 نانومترات فقط سماكة، وهو طول جزيء واحد من الباكتريورودوبسين. ومن لونه، دعيت القطعة الغشائية هذه «الغشاء الأرجواني purple membrane» التي يمكن اعتبارها الخلية الشمسية البيولوجية لهذه الجراثيم. ويعمل كل جزيء مفرد من الباكتريورودوبسين في الغشاء الأرجواني كمضخة بروتونية موجهة ضوئياً. فبعد امتصاص فوتون ضوئي، ينقل الباكتريورودوبسين بروتوناً من داخل الخلية إلى الوسط المحيط، ويقلب بذلك الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تمكن خلية الجرثوم من البقاء حية.

وعندما نتحدث عن عطالة (خمول) الباكتريورودوبسين تجاه المواد الكيميائية والتفكك الكيميائي الضوئي وعن ديمومته الملفتة للنظر، يتوجب علينا أن نميز مايلي: إن المعني بذلك هو شكل الغشاء الأرجواني. إذ تحتوي الأغشية الأرجوانية نحو عشرة جزيئات دسمة مقابل جزيء واحد من الباكتريورودوبسين تعمل كوسط لزج حاضن لثلاثي قطع الباكتريورودوبسين. وإذا ماتم الحصول على محلول من هذا الغشاء ومن ثم تحليل الباكتريورودوبسين ثلاثي القطع أو أحادي القطع المعزول منه لتبين أن الغشاء السليم (الصحيح) قوي من أجل ثبات المادة. ولقد ميَز شين وزملاؤه [1] مظهراً مفتاحياً آخر، وهو غياب الماء، من أجل محافظة الجزيء على ثباته فوق درجة المائة المئوية، الأمر الذي يوسع صلاحية استعمال الأغشية الأرجوانية في درجات الحرارة العالية المطلوبة للتطبيقات التقانية.

ويجمع الباكتريورودوبسين ثلاث وظائف مفيدة تقنياً من الناحية المبدئية (انظر الصورة رقم 2 صفحة 72) [3]. أولاً، إنه مضخة بروتونية موجهة ضوئياً، الأمر الذي يجعل بالإمكان قلب الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية أو كهربائية. ثانياً، إنه يملك صفات كهرضوئية تعود إلى حدوث فصل شحني ابتدائي فيه بعد امتصاص فوتون. ثالثاً، إنه بروتين ذو تلون ضوئي: يؤدي امتصاص الضوء إلى قلب لوني عكوس من الأرجواني إلى الأصفر، بإمكانه العودة والاقتراب من الأشعة الزرقاء والصفراء أكثر مما يفعله أي مركب لوني ضوئي مُصنَع كيميائياً. إن هذه الخاصة وحقيقة كون الباكتريورودوبسين يستعمل الضوء بكفاءة عالية (يكفي فوتون واحد أو اثنان لقلب جزيء واحد من الأرجواني إلى الأصفر) تجعله مرغوباً (مطلوباً) للاستعمال في العمليات المعلوماتية الضوئية.

لقد أدت بحوث متخصصة جداً لعقدين من الزمن إلى كشف البنية الجزيئية [4] للباكتريورودوبسين ولوظيفته [5,6] بدقة متناهية. لقد تم الحصول، في البدء، على جزيئات طافرة محررة من الباكتريورودوبسين في الباكتيري الشريشيات

كولي Escherichia coli [7] . ومع تطور جملة التحول في الباكتيري Halobacterium أصبح بالإمكان الحصول على جزيئات الباكتريورودوبسين الطافرة في الغشاء الثابت وفي مقادير كبيرة.

لقد تم البرهان أن أفلاماً جافة من جزيئات الباكتريورودوبسين الوظيفية المعدلة مفيدة الاستعمال في العمليات المعلوماتية الضوئية [6] ، مثل التعرف على النمط التصويري المجسم holographic [9] . ويجب أن تعطي (تنتج) الصفات الضوئية لأفلام الباكتريورودوبسين الجافة تطبيقات متنوعة [10] . إن التشوه بالحرارة لم يكن مشكلة أبداً ، ولكن أحداً لم يجرب دفع أفلام الباكتريورودوبسين إلى حدود مقدرتها العظمى . وإن نتائج شين ومساعديه تضعها في مصاف التطبيقات الحرارية بصورة جيدة ، على النقيض من معظم المواد اللونية الضوئية الصنعية ، وخاصة استعمالها بوجود الأوكسجين والضوء .

ومع وجود الحظ ، فإن أعمال شين ومساعديه ، ستشجع باحثين آخرين للعمل من أجل تحويل الجزيئات البيولوجية الكبيرة «جيدة التميز» إلى الحالة الصلبة أو الزجاجية (عموماً ليس بسهولة استخدام الغشاء الأرجواني) وبحث الثبات البنيوي للمواد الناتجة في درجات حرارة أعلى .

المراجع REFERENCES

[1] Shen. Y. *et al. Nature* **366.**48 50 (1993).
[2] Oesterhelt, D. & Stoeckenius, W. *Nature new Biol* **233**. 149 152 (1971).
[3] Oesterhelt, D. et al. *Q. Rev. Biophys.* **24.**425 478 (1991).
[4] HenJerson, R. *et al. J. molec. Biol.* **213.**899 929 (1990).
[5] Birge, R.R.A. *Rev. phys. Chem* **41.**683 733 (1990).
[6] Zimanyi, L.*et al. Biochemistry* **31**. 8535 8543 (1992).
[7] Braiman, M.S. *et al. J.biol. Chem.* **262.**9271 9276 (1987).
[8] Ni. B. F. *et al. Gene* **90**. 169 172 (1990).
[9] Thoma, R. & Hampp, N. *Opt. Lett.* **17.**1158 1160 (1992).
[10] Hampp. N. *et al. Mat. Res. Soc. Buli.* **17.**56 60 (1992).

4- مشروع JET على شفير الهاوية *

سيُفصلُ مئات العلماء والمهندسين من أعمالهم في وقت لاحق من عامنا هذا 1994 من أكبر مشروع مفاعل اندماجي في العالم ، وهو مفاعل الحلقة الأوربي المشترك JET في منطقة كَلَهام بالقرب من مدينة اكسفورد ، مالم يُعثر على حل للنزاع الطويل حول الطريقة التي سيعامل بها العلماء البريطانيون العاملون بالمشروع .

وصل النزاع إلى طريق مسدود في شهر كانون الأول عندما صوت البرلمان الأوربي لصالح اقتطاع 30% من ميزانية الاندماج النووي الأوربي إلى أن تبدأ محادثات للوصول إلى حل وسط . وبعد ذلك تم اقتطاع جزء من ميزانية مشروع JET بنفس النسبة . ووصف مارتن كيلهاكر M. Keilhacker مدير المشروع ذلك الاقتطاع بأنه «سيوقف العمل بالمشروع في أيار أو حزيران» .

يعتبر مشروع JET من أكثر مفاعلات الاندماج النووي نجاحاً في العالم . وينظر إليه كأفضل مثال على مايمكن أن يحققه التعاون العلمي بين الدول الأوربية . لقد تم تجاوز الأهداف الأصلية للمشروع حيث أن وظيفته الأساسية هي أنه سيكون حقل تجارب لمفاعل الجيل التالي . وهو المشروع الأوربي الروسي الياباني الأمريكي المشترك الذي يدعى المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي ITER . إن أي تأخير يحصل في مشروع JET قد يجعل مهمة وضع تصميم المفاعل ITER أمراً أكثر صعوبة . ويتساءل «كيلهاكر» قائلاً : «كيف يتسنى لك أن تغلق المفاعل وأنت ماتزال متمتعاً بمصداقية عالمية» .

ولب المشكلة هو أن قرابة 220 باحثاً بريطانياً يعملون في المشروع وهم يعملون أيضاً لصالح سلطة الطاقة الذرّية البريطانية ويتقاضون رواتب أقل بنسبة 30-40% من نظرائهم الأوربيين الذين تستخدمهم هيئة الطاقة النووية الأوربية . والشيء الأكثر أهمية كما يقول جون بيلارد J. Billard ، الذي يعمل لصالح اتحاد يمثل الموظفين في مشروع JET ، هو أن العاملين لدى وكالة الطاقة النووية التابعة للجماعة الأوربية

* عن مجلة *New Scientist*, 29 January,1994,p.4 ، تأليف Jeremy Webb ، ترجمة دائرة الاعلام والترجمة والنشر ومراجعة لجنة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية .

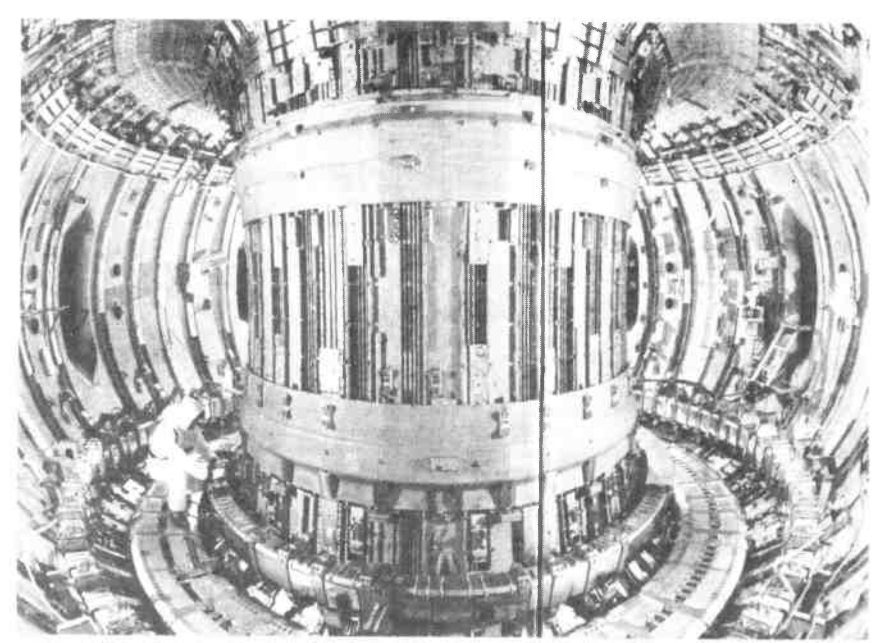
لايمتلكون أية ضمانات بالعمل عقب إغلاق مشروع JET . وإذا قارناهم بغيرهم نجد أن لدى أولئك الذين تستخدمهم هيئة الطاقة النووية الأوربية ضمانات بالعمل مع مستخدميهم السابقين أو بالعمل في مشاريع أوربية كمشروع ITER .

لقد عرض الموظفون البريطانيون قضيتهم على المجموعة الأوربية بدون تحقيق أي نجاح. وفي عام 1990 قدموا التماساً للبرلمان الأوربي. وفي عام 1992 اقترحت لجنة تحقيق، شكلها أعضاء ذلك البرلمان، حلّين للنزاع هما أن تقدم هيئة مشروع JET لجميع العاملين عقداً موحداً أو أن تُوصي وكالةُ الطاقة الذريّة الأوربية بمنح الموظفين البريطانيين الذين سيتقدمون للعمل في مشاريع أوربية أخرى معاملة تفضيلية. ولقد رفض مجلس إدارة المشروع، الذي يضم ممثلين لمنظمات أوربية تدفع جزءاً من ميزانية المشروع، الخيار الأول. إن إعطاء كافة العاملين بالهيئة عقوداً للعمل معها سيعني إعادة كتابة دستور الوكالة، وهي مهمة يعتبرها المجلس شاقة ومكلفة. وذكر المجلس أنه ليس من الغريب أن يتقاضى أناس محليون رواتب أقل من العمال الأجانب.

وانتهى الاقتراح الثاني أيضاً والذي تقدمت به اللجنة إلى طريق مسدود. وأكدت وكالة الطاقة الذريّة الأوربية دوماً أن العاملين بالمشروع يتقاضون رواتب جيدة بالمقارنة مع غيرهم. وبالحقيقة فإن العاملين في مشروع JET ينالون إعانة سنوية تبلغ 15%. وتقول الوكالة أنها لاتستطيع دفع رواتب أعلى لأنها ملتزمة بسقف الرواتب الذي حددته الحكومة للعاملين بالقطاع العام.

وعلاوة على ذلك تجادل الهيئة أنها لاتستطيع أن تحابي العمال البريطانيين الذين يبحثون لأنفسهم عن وظائف. ويقول أحد الموظفين في بروكسل: «ينصّ أحد المبادىء الأساسية في قانون الوكالة على أنه لايجوز التمييز بين الناس من الدول الأعضاء. وإذا منحناهم معاملة تفضيلية فقد نخسر القضية إذا عرضت على المحكمة الأوربية».

ونظراً لعدم إمكان التوصل إلى تسوية في المستقبل القريب صوتت لجنة الميزانية التابعة للبرلمان الأوربي في شهر كانون الأول الماضي لصالح اقتطاع 59 مليون وحدة نقدية أوربية (44 مليون جنيه استرليني) من الأموال المخصصة لبرنامج الاندماج النووي لهذا العام. وتقول آن ماري غودميكرز A. Goedmakers، وهي عضوة هولندية في لجنة الميزانيات التابعة للبرلمان الأوربي، في رسالة لها إلى اللجنة الاستشارية التابعة للهيئة أن البرلمان سيصدر



الاستعداد للعمل: JET تستعد لتجربة الاندماج التالية، لكن السياسة يمكن أن تتدخل.

أمراً بصرف الأموال عندما تبدأ كافة الأطراف بالعمل على حل النزاع القائم بينها .

وفي وقت سابق قررت اللجنة توزيع الدين بالتساوي على برنامج الاندماج النووي باستثناء المشاريع لصالح مفاعل ITER . وإذا حصل أي تأخير في تنفيذ هذه الاجراءات فستجد أوربا نفسها عرضة للنقد من شركائها الدوليين . بيد أن مشروع JET سيتعرض لاقتطاع يبلغ 28 مليون وحدة نقدية أوربية من الميزانية المتوقعة وهي 100 مليون وحدة . ويذكر كيلهاكر أن المشروع مديـــن بمبلغ 27 مليون وحدة . ويضيف قائلاً :«نحن لانستطيع المحافظة على سلامة هذا المكان وكل العاملين به إلى نهاية العام» .

وعلاوة على العاملين في وكالة الطاقة الذرّية الأوربية فإن لدى مشروع JET 150 عاملاً من الهيئة و350 مقاولاً . ويقول كيلهاكر أنه إذا بقيت الأمور على ماهي عليه فسيعطى قرابة 200 شخص إنذارات بفصلهم من أعمالهم في شهر نيسان . ويردف قائلاً : «بالواقع إننا في ورطة ولا أعتقد أنه يوجد حل لهذه المشكلة» .

إن وكالة الطاقة النووية الأوربية التي لديها ممثلين في مجلس مشروع JET واللجنة الاستشارية التابعة لهيئة الطاقة الذرّية الأوربية تحاول جاهدة أن تنأى بنفسها عن العاصفة الوشيكة . ويقـــول ناطق رسمي: «إن إغلاق مشروع JET هو من شأن هيئة المشروع» . وتذكر وزارة التجارة والصناعة الممثلة في اللجنة الاستشارية للبرنامج أن قرار إغلاق المشروع سيتخذه الطاقم الأوربي الذي يدير برنامج الاندماج النووي .

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *New Scientist* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره .

5- الأمل بنجاح الاندماج النووي منوط بأداء مفاعل JET المجدَّد ★

تدخل مهمة تسخير التفاعل الذي يزود الشمس بالطاقة مرحلةً جديدة هذا الأسبوع . وستوصد أبواب أضخم مفاعل اندماجي في العالم هو المفاعل الحلقي الأوربي المشترك Joint European Torus (JET) الواقع في منطقة كالهام بالقرب من مدينة اكسفورد ، كما ستتم تخليته من الهواء ليكون جاهزاً لاختبار معداتٍ جديدة ، يأمل الباحثون أن تمنحهم سيطرة أكبر على التفاعل الاندماجي .

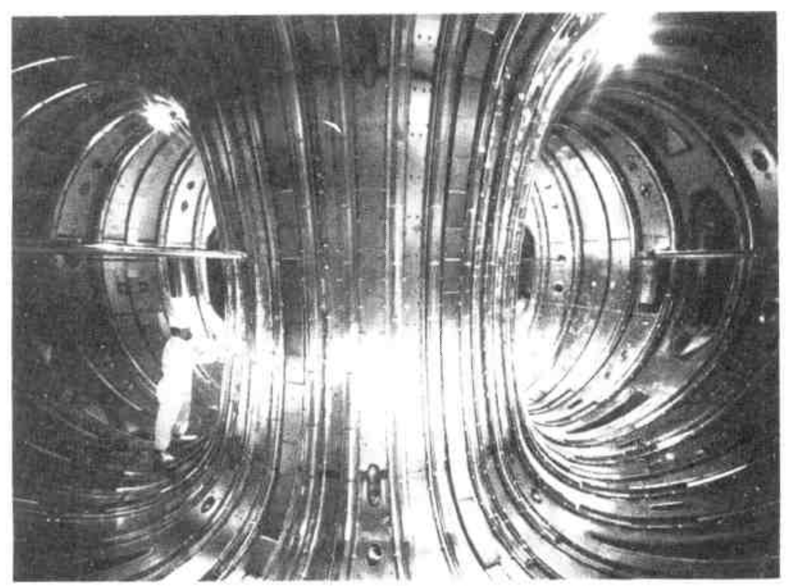
ومن الناحية النظرية ، تستطيع مفاعلات هذا الاندماج تزويد العالم بالطاقة لآلاف السنين . ومن المتوقع أن يكون المزيج الناجح من الوقود مركباً من نظيرين للهدروجين هما الدوتيريوم الموجود في الماء والتريتيوم الذي يمكن صنعهُ من الليثيوم . وعندما تندمج نوى هذين النظيرين فإنها تولد كميات هائلة من الطاقة .

وبداخل مفاعل JET الذي له شكل الكعكة (انبوب سواري) ، يُسخَّن غاز من أحد النظيرين أو من كليهما إلى 100 مليون درجة ونيِّف . ولدى بلوغ هذه الدرجات من الحرارة تنهار الذرات لتشكل البلازما حيث يكون للنوى المجرَّدة (المتأينة) طاقة تكفي للتغلب على التنافر الطبيعي فيما بينها . ويتم حصر هذه البلازمـــا داخل «قفص» تولده مغانط قوية . إلا أن الباحثين وجدوا أن تجاربهم توقفت لدى ظهور زُهارات «blooms» مفاجئة من الشوائب لايمكن السيطرة عليها . وتتكوَّن هذه الزُهارات عندما تشق الأيونات السريعةُ الحركة طريقَها عبر القفص مصطدمة بالقرميد الذي يبطِّن قلب المفاعل مولدةً نواتج تفاعل تمدّد البلازما وتشع حرارةً تنقص من طاقة البلازما مما يؤدي إلى القضاء عليها .

وللتغلب على هذه المشكلة ، أعيد تصميم القسم الداخلي من JET بأكمله . وقد أزيل 30 طناً من مكوناته على مدى السنتين الماضيتين واستبدل بها معدات جديدة .

وطبقاً لما ذكره مارتن كَيْلهاكر M. Keilhacker مدير مشروع JET أن من أكثر التغيرات إثارة كان إضافة أربع وشائع (ملفات) coils حول أرضية المفاعل . فالحقل المغنطيسي الذي تولده هذه الوشائع سيرفع البلازما من أرض المفاعل ويحول مسار الأيونات الضالة إلى أسفل جدران المفاعل ثم إلى

★عن مجلة *New Scientist*, 22 January, 1994, p.18 ، تأليف Jeremy Webb . ترجمة دائرة الاعلام والترجمة والنشر ومراجعة لجنة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية .



الشحن: إعادة بناء الجزء الداخلي في JET من أجل تمديد تفاعلات الاندماج.

ميزاب في الأرضية. إن أية شوائب تنجم عن اصطدام الأيونات بالقرميد ستقذف بها المضخات نحو الخارج. ويقول مايك واتكينز M. Watkins مساعد كيلهاكر في مشروع JET:« إن إبعاد الشوائب هذا ينبغي أن يحمي البلازما».

إن استخدام المخلّيات يوفر سبيلاً للمحافظة على ثبات كثافة البلازما. وأثناء التجارب يجري إطلاق حزم عالية السرعة من أيونات الدوتيريوم إلى داخل حجرة المفاعل لرفع درجة الحرارة. «ولإيقاف ارتفاع كثافة البلازما جراء ذلك، يجب ضخ الفائض منها إلى الخارج أيضاً» كما يقول واتكينز.

ويرى كيلهاكر أن التغلب على الشوائب وغازات العادم هي مشاكل بالغة الأهمية تواجهُ التفاعل الاندماجي. ويقول كيلهاكر «إنه يمكن تدبير هذه الأمور باستخدام هذه المفرّعة الضخية». ويأمل كيلهاكر أن يُمكّنَ الجهاز الجديدُ العلماء من توليد بلازمات تبقى في حالة مستقرة ولاتدمرها زُهارات الشائبة.

ستطبق الخبرةُ البحثية التي حصل عليها العلماء من خلال عملهم في مشروع JET على المفاعل الاندماجي من الجيل التالي، وهو المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي ITER. وقد وُضع تصميم المفاعل ITER ليكون أضخم وأقوى من المفاعل JET، ولإثبات أنه يُنتج بلازمات طاقتها أكبر من الطاقة اللازمة لقيادتها. ويقول جورجن ديتز J. Dietz الذي يعمل في مشروع مفاعل ITER في غارشينغ بالقرب من ميونيخ:« إن إنجاز محوّل المسار (المفرّعة) لدى JET مهم للغاية»، ويضيف قائلاً «ونحن نأمل بأن يتمكن الباحثون العاملون في JET من معالجة المشاكل المتعلقة بمحول المسار (المفرّعة) في مفاعل ITER».

ولن نضطر للانتظار طويلاً حيث يتوقع أن تبدأ التجارب على مفاعل JET الذي أعيد تصميمه في غضون الأسابيع الخمسة القادمة.

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *New Scientist* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.

6- أضواء التيتانيا السحرية *

كان مونيت Monet مشهوراً في فن الرسم بالضوء وكذلك نبيل لاوندي Nabil Lawandy. وهذا الأخير فيزيائي متخصص بالليزر من جامعة براون Brown في

★عن مجلة *The Economist*, 2 April, 1994 ، ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر ـ ومراجعة لجنة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

بروفيدِنْس Providence في رودْآيْلَنْد قام بمزج فوق كلورات الرودامين، وهو صباغ يستخدم في الليزرات، مع التيتانيا (جسيمات أكسيد التيتانيوم)، وهو قوام الطلاء الأبيض الذي يبعثر الضوء، وهو بذلك يشكل معجوناً يعمل على تضخيم الضوء بطريقة الليزر نفسها. والفرق الوحيد بين الضوء الذي يسطع من بقعة المعجون (التي يمكن أن يُلطَخ بها أي سطح وبأية كمية كانت) وبين الضوء الصادر عن ليزرٍ تقليدي هو أن الضوء ينبثق من البقعة في جميع الاتجاهات بدلاً من أن يكون على شكل حزمة ضوئية محددة. ومن ناحية أخرى يبدو الضوء ساطعاً جداً وبلون واحد كضوء الليزر العادي ولهذا السبب يمكن أن ينطوي على فوائد شتى. ويتصور الدكتور لاوندي تطبيقات متعددة إذ لديه مجموعة تراخيص مسجلة لهذه التطبيقات.

يتألف الضوء من تيار من الفوتونات، ويتميّز ضوء الليزر بأن جميع فوتوناته تحمل بالضبط الكمية نفسها من الطاقة. وتكتسب طاقتها من تعاقب تفاعلات تسمى الإصدار المحثوث حيث تقوم الفوتونات بالقفز بين الذرّات المضخوخة بكمية مناسبة من الطاقة، بواسطة ضوء وامض أو ليزر آخر، ويقصد بكمية الطاقة المناسبة ذات الكمية التي تحملها الفوتونات.

وتتخلص الذرّة المضخوخة من الطاقة الزائدة بإصدار فوتون يشبه تماماً الفوتون الذي قام بعملية الضخ، وبعدئذ ينطلق الفوتون بعيداً ويفعل الشيء نفسه مع الذرّة المجاورة التي تعرضت للضخ. وفي ليزرٍ عادي تنظّم المرايا مسار شعاع الضوء هذا وتحوله لحزمة ضوئية منتظمة.

لايفعل الدكتور لاوندي ذلك بواسطة المرايا ـ أو بالأحرى نيس بمرايا كبيرة. فهو يضحي بمفهوم الاتجاه ويحصل على مصدر رخيص من ضوء الليزر الذي يصدر أشعته في الاتجاهات كافة.

إلا أن الضوء لايزال يقفز هنا وهناك إلى حد بعيد. ولهذا السبب نضع «التيتانيا» في الخليط. إن حثّ الصباغ بشعاعه الخاص بواسطة حزمة ليزرية يعطي بقعة صغيرة متوهجة؛ وبفعل الشيء نفسه مع الصباغ وإضافة التيتانيا فإن ذلك يضيء الغرفة بأكملها مباشرة.

وللضوء القوي ذي اللون الوحيد استخدامات كثيرة، ويحتمل أن تزداد هذه الاستخدامات عندما نتمكن من توليد الضوء بسرعةٍ وبكلفةٍ قليلة من شيء يأتي في علبة معدنية. ويسعى الدكتور لاوندي إلى تحقيق فكرة واحدة مع فريق متخصص في علم الأطياف في رودآيلند حيث يستخدمون الأصباغ للحصول على ألوان أخرى من حزمة الليزر الرئيسية ذاتها.

تتطلب إزالة العلامات الموجودة على الجلد حالياً ضوءاً ليزرياً له مجال من الألوان، والليزرات المطلوبة بهذه المواصفات ليست رخيصة. ويريد الدكتور لاوندي أن يركّب مستحضرات رخيصة مصمَّمة كي تعمل على إصدار الضوء بأطوال موجية مختلفة؛ فبإمكانك أن تدهن هذه المستحضرات في الأماكن المناسبة وتدع ليزراً واحداً يضخها جميعاً. ويمكن تطبيق تقنية مشابهة على المعالجة بالتحريك الضوئي للسرطان، حيث تعالج فيها الأورام بواسطة دواء يصبح مميتاً فقط عندما يتعرض لضوء ذي طول موجي معين.

ويسعى علم الأطياف والدكتور لاوندي أيضاً للحصول على شاشات سوف يُستبدل فيها الليزر بأنبوب الأشعة المهبطية التقليدي. وتتلخص الفكرة بجعل كل عنصورة pixel★(عنصر صورة picture element) على الشاشة على شكل بقعة منفصلة من الدهان الليزري وبلون معين. ويمكن أن يمسح الليزرُ الرئيسي الشاشة راسماً الصورة بحثّ عنصورات ليزرية متتابعة. كما يتطلع الدكتور لاوندي إلى إيجاد طرق يستخرج فيها ضوء الليزر من الدهان باستخدام الكهرباء لليزر للقيام بعملية الضخ.

ويمكن استخدام عدة مواد مختلفة في المستقبل لكل من الصباغ والعناصر التي تبعثر الضوء في المزيج، مانحة مايمكن تسميته بالفنانين الليزريين، ذوقاً رفيعاً يستغلونه في تصميم صورةٍ زيتية جدارية متطورة جداً. ولكن قبل استخدام الألوان الليزرية في صنع الزخارف سيكونون قد شرعوا بإزالتها. ويتوقع لاوندي أن يتم استخدامها في إزالة الوَشم خلال سنة.

★ عنصورة Pixel كلمة منحوتة من عنصر صورة picture element.

7- كيف تشكَّلَ الهدروجين الأسود ؟★

لم ينتهِ الحديث عن المادة السوداء. هذه المادة اللامضيئة التي قد تمثل تسعة أعشار كتلة الكون، هل يمكن أن تكون جسيمات أولية؟ أم أنها نجوم أخفقت في الوصول إلى الطور المضيء، كما توحي وقائع العدسة المكروية التثاقلية، هذه الوقائع المكتشفة منذ فترة وجيزة (انظر «هل كُشِف النقاب أخيراً عن الكتلة المخفية؟» في هذا العدد من مجلة La Recherche).

لقد افترض بعض الفلكيين السويسريين والفرنسيين أن في المجرات الحلزونية، تبدو المادة السوداء على شكل غاز (وحتى على شكل جليد) الهدروجين الجزيئي.

يتوزع هذا الغاز، مَثَلَه كمثَل النجوم، في قرص، ولكنه يتخذ أبعاداً تفوق كبر القرص النجمي. وتتوضع جزيئات من الهدروجين بعيداً عن مركز المجرة، هناك حيث تكاد لاتوجد أية نجوم، مما يجعلها من الناحية العملية غير مرئية. وفي الواقع، في هذه المناطق النائية المحيطية (البعيدة عن المركز) لاتوجد نجوم لتسخينها، ودرجة حرارتها هي نفسر درجة حرارة عمق الإشعاع الكوني (2,7K). ومن جهة أخرى، إذا توزعت هذه الجزيئات وفق بنية جزئية، فإن الكتلة الكلية يمكن أن تكون كبيرة جداً؛ وهذا هو تعريف المادة السوداء بعينه.

إن تشكل بنية كهذه واستقراريتها يطرحان، مع ذلك، بعض المشكلات. وفي النموذج الذي يتصوره الباحثون، فإن دوران المجرّة هو الذي يثبّت البنية على نطاق واسع، فالفكرة إذن صحيحة وخاصة بالنسبة للمجرّات اللولبية. ويوحي النموذج، إضافة إلى ذلك، بأن أصغر الذرات من الهدروجين لابُدّ أن تكون أكثف بمليون مرة من الوسط البَيْنجمي وبأنها ذات أبعادٍ تفوق مدار الأرض بـ 30 مرة. كما أن هناك تصادمات مستمرة تمنع هذه المواد من التجمع على شكل نجوم.

وتكمن المشكلة في معرفة كيفية تجريب هذه الفكرة المثيرة، بما أن المادة السوداء، بطبيعتها غير مرئية.

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *La Recherche* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.

8- لماذا تحتاج الأغنام المصابة بسقط ذري إلى شراب فوّار غير مسكر؟★★

يمكن أن يحمل الشراب الفوار غير المسكر fizzy المفتاح لإزالة تلوث الأغنام بالفاعلية الإشعاعية وهي المشكلة الموجودة في بريطانيا منذ عام 1986 عندما أثر السقط (الغبار الذرّي الساقط) الناجم عن حادثة تشرنوبيل على مئات آلاف الحيوانات. بين الباحثون في جامعة ليدز Leeds بأنه يمكن أن يزال تلوث الأغنام جزئياً وأن تتم وقايتها من تلوثٍ جديدٍ عندما تتغذى هذه الحيوانات على المنتجات الثانوية لصناعة المشروبات العادية غير المسكرة.

يدعى هذا المنتج الثانوي ميسيليوم حامض الليمون citric acid mycelium وهو عبارة عن مخلّف صلب يوجد في الراقودات vats (أوعية كبيرة تستخدم للتخمير) عند تصنيع حامض الليمون الذي يستخدم كمادة منكهة flavouring في العديد من الأغذية والمشروبات الفوارة. وجد الباحثون أن هذا المخلف يساعد على جريان السيزيوم -137 المتراكم إلى خارج أجسام الحيوانات ويعيق امتصاصه من العليقة.

يقول بول أوينز Paul Owens وزملاؤه في قسم فيزيولوجيا وتغذية الحيوان بجامعة ليدز بأن المخلف المذكور يمكن أن يساعد المزارعين على إزالة تلوث أغنامهم بسرعة أكبر. تمنع أنظمة الحكومة البريطانية بيع أكثر من 400 000 رأس غنم في بريطانيا موجودة في حوالي 500 مزرعة تقع في أراضٍ مرتفعة موجودة في مناطق كمبريا Cumbria و ويلزً Wales، واسكتلندا Scotland ما لم تصل الفاعلية الإشعاعية إلى أقل من

★عن مجلة La Recherche Vol.25, No 261, Janvier, 1994,p.12، ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر ومراجعة لجنة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية

★★عن مجلة New Scientist, 16 April, 1994، تأليف Andy Coghlan، ترجمة الدكتور معتز زرقاوي - قسم الزراعة الإشعاعية - ومراجعة لجنة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الحد المسموح به (مستوى الأمان) وهو 1000 بيكريل بالكغ الواحد.

يُعد السيزيوم -137 من أكثر الملوثات الناجمة عن حادثة تشرنوبيل إشكالاً: إذ تتناول الأغنام هذا النظير عندما ترعى على أعشابٍ امتصت نواة مشعة من تربةٍ ملوثةٍ. إن للسيزيوم عمر نصف يناهز 30 عاماً ولهذا، سيستغرق تحلله قروناً ليبلغ مستوىً مهملاً أي إلى الحد المسموح به.

يحوي ميسيليوم حامض الليمون فطر Aspergillus niger الذي يؤدي إلى تخمر المولاس وإنتاج حامض الليمون. توجد مادة أخرى أثناء عملية التصنيع تدعى حديدات أزرق سداسي البوتاسيوم والتي تحد من نمو الفطر ولكن تؤدي إلى الحصول على حامض الليمون بالإنتاج الأعظمي. تنتمي المادة المذكورة إلى عائلة مركبات تستطيع حجز ذرات المعدن ضمن معقداتٍ كيميائية.

في عمل دُعِمَ مالياً من قبل وزارة الزراعة والمسامك والأغذية، قدّم أوينز وزملاؤه ميسيليوم حامض الليمون إلى الأغنام وحاولوا ملاحظة ما إذا كانت مادة حديدات أزرق سداسي البوتاسيوم ستنجذب إلى السيزيوم -137 وتساعد الحيوان على التخلص منه. يقول أوينز: «لاحظنا أن المادة لا تمنع تمثل (امتصاص) السيزيوم من العلف فحسب، بل وتطرح السيزيوم الموجود في جسم الحيوان أيضاً».

في تجربة أولى، غذى الباحثون وبصورة أولية 6 أغنام على محلول يحوي كلور السيزيوم ذا الفاعلية الإشعاعية مخلوطاً بالكريات العشبية. تناولت كل غنمة 620 000 بيكريل من الفاعلية الإشعاعية، وقام الباحثون بعدها بقياس الفاعلية الإشعاعية في كامل جسم الحيوان باستخدام مرقاب إشعاعي خاصٍ.

بعد أن غذيت الحيوانات على الكريات النشطة إشعاعياً، أُعطيت (تناولت) ثلاث من الأغنام الست جرعاتٍ يومية تحوي 500 غ من ميسيليوم حامض الليمون المخلوط مع 200 غ من كريات من العشب، حين أُعطيت الحيوانات الثلاثة الأخرى مامقداره 700 من الكريات العشبية وحدها.

بعد ثلاثة أيام، انخفض تعداد النشاط الإشعاعي نحو 80% عند الحيوانات التي حصلت على ميسيليوم حامض الليمون في مقابل انخفاض بلغ 37% عند الحيوانات التي حصلت على الكريات العشبية فقط.

وكان روث الحيوانات، التي تناولت الميسيليوم، يُبدي نشاطاً إشعاعياً أكثر بكثير إضافة إلى وجود آثارٍ من النشاط الإشعاعي في البول، الشيء الذي يشير إلى أن السيزيوم كان يمر عبر الأمعاء دون أن يُمتص من قبل تيار الدم.

تم عكس نظام التغذية للحيوانات الستة بعد 6 أسابيع، لكن فاعلية الميسيليوم كانت هي هي. يقول اوينز: «إنّ عدد الحيوانات ليس كثيراً، لكن التأثيرات كانت سريعة ولا يوجد شك في أن الميسيليوم يعمل».

في تجربة ثانية، حُقن كلور السيزيوم النشط إشعاعياً في دم الأغنام ليتراكم في أنسجة عضلاتها. طرحت الحيوانات، التي غذيت على عليقة غنية بالميسيليوم، السيزيوم في روثها بمعدل يزيد 10 أضعاف طرحه من قبل الأغنام التي غذيت على الأعشاب لوحدها، الشيء الذي يبرهن أن الميسيليوم يؤدي إلى التخلص من السيزيوم المتراكم، يقول اوينز.

يقترح الباحث تغذية النعاج بالميسيليوم خلال موسم الولادات عندما تقضي الحيوانات عدة أسابيع في حقول المزرعة ولاترعى في الأراضي الوعرة.

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرة مجلة *New Sientist* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.

9- مضادات الآفات وسرطان الثدي *

إن المواد الكيميائية الموجودة في الوسط المحيط «البيئة» التي تعمل عمل هرمونات بشرية يمكن أن تكون سبباً في «زيادة غير متوقعة لمعدل حدوث سرطان الثدي»، كما تقول د. ل. ديفيس

* عن مجلة *New Scientsit*, 25 September,1993,p.4 ، تأليف Gail Vines ، ترجمة الدكتور أحمد عثمان ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية في هيئة الطاقة الذرية السورية.

D.L.Davis ، عالمة سموم وعضو استشاري في سكرتارية المساعدة الصحية في الولايات المتحدة الأمريكية . ويجب استعراض صفات المواد الكيميائية من حيث محاكاتها لهرمون الأستروجين .oestrogen قبل الإفراج عنها للاستخدام في البيئة المحيطة ، تقول ديفيس .

ولقد ارتبط اسم الأستروجين بسرطان الثدي منذ فترة طويلة ، كما تدل وقائع وبائية ، الأمر الذي يربط بين درجة المخاطرة للإصابة عند المرأة وبين درجة التعرض المقدرة لهذا الهرمون ، ومن خلال ماكتشف من أن الأستروجين يحث خلايا الثدي على الانقسام بصورة سريعة . والآن يتوخى بعض العلماء أن الجرع (العيارات) المفرطة لمركبات شبيهة بالأستروجين موجودة في البيئة المحيطة يمكن أن ترفع كميات هرمون بعض النساء اللواتي يتلقينه إلى السويات الخطرة .

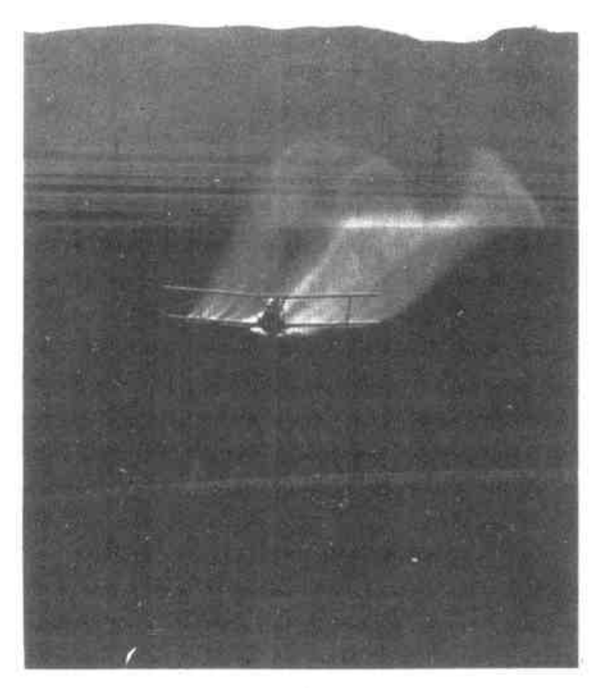
«إنني لاأستطيع أن أقول لكم أن مبيدات الآفات تسبب سرطان الثدي» ، تقول ديفيس ، «ولكن الملوثات شبيهة الأستروجين تتوافق مع الأنماط غير المتوقعة من حوادث سرطان الثدي وزيادة معدله الملفتة للنظر» . وتشير الوقائع إلى أن نسبة الوفيات بسرطان الثدي في الولايات المتحدة قد ارتفعت منذ الأربعينيات إلى نحو 1% كل عام . وتقدر ديفيس وفريقها أن عوامل المخاطرة المثبتة من أجل حدوث سرطان الثدي، مثل: الطمث المبكر ، الحمل المتأخر ، الوصول المتأخر لسن اليأس ، مع تواتر المرض ضمن العائلة ، تتوافق مع 30% فقط من هذه الحالات .

ومن سجلات مواد كيميائية صناعية ـ بما في ذلك مبيدات الآفات المشتملة على مشتقات الكلورين العضوية مثل الـ DDT بالإضافة إلى ثنائي الفنيل عديد الكلور (PCBs) يتضح بأنها معروفة الآن بكونها تعمل كأستروجينات ضعيفة ، كما يقول ج . ماك لاشلان J.McLachlan ، وهو عالم ومدير المعهد القومي لعلوم الصحة البيئية في كارولينا الشمالية . وتملك بعض هذه الكيميائيات نصف عمر طويل ويمكنها أن «تتراكم بيولوجياً» ، أي أنها تدخل في بنية المدخرات الدسمة والسلسلة الغذائية . وفي العدد الشهري المقبل من «آفاق في الصحة البيئية» ستنشر ديفيس وخمسة من زملائها ورقة تشير فيها إلى هذه المواد الكيميائية «كأسباب لسرطان الثدي يتوجب الوقاية منها» .

«إن الفرضية البيئية مثيرة للغاية ومهمة علمياً ، وسنقوم بتتبعها والتحقق منها» ، يقول س . بريدر S. Broder ، مدير المعهد القومي للسرطان في الولايات المتحدة:«إنها مسألة ذات أفضلية عالية بكل تأكيد» .

وفي وقت مبكر من هذا العام ، نشرت مجلة المعهد ورقة مبدئية لـ ماري وولف M. Wolff من المدرسة الطبية لـ Mount Sinai في نيويورك . لقد حلَّلت وولف عينات دم مجمدة مأخوذة من نساء تَشَكَّل عندهن سرطان ثدي حديثاً ، ووجدت أن هذه العينات تحوي سويات من الـ DDE ، وهو أحد المركبات الناتجة عن تفكك الـ DDT ، أعلى بكثير مما يوجد منه عند نساء لم يتشكل عندهن سرطان ثدي .

ويعتقد باحث آخر ، وهو ل . برادلو L. Bradlow من جامعة كورنيل Cornell في نيويورك ، أنه وجد الآلية الكيميائية الحيوية التي تشرح هذا الاكتشاف . لقد وضح أن مركبات الكلورين العضوية تعزز الطريق



حصاد مرير: الملوثات يمكن أن تفسر ازدياد السرطان .

الاستقلابي الذي يقلب الاستراديول، وهو أستروجين الجسم الأكثر كفاءة، إلى 16-alpha-hydroxyoestrone، الذي يحث خلايا الثدي على الانقسام ويُقلع بالتالي عملية تشكل أورام. ولكن ليست جميع الأستروجينات «سيئة» لهذا الحد، تقول ديفيس؛ فقد أشارت إلى أن الأستروجينات المستعملة في موانع الحمل التي تؤخذ عن طريق الفم أو أثناء العلاج الهرموني البديل HRT لايتوجب أن يكون لها هذا الأثر الاستقلابي. ولم يتم البرهان على وجود ارتباط بين استعمال الـ HRT أو حبوب منع الحمل وبين حدوث سرطان الثدي.

ولكن لم يتم التأكد من جميع الحجج التي كتبتها ديفيس في هذا المجال. يقول ج. بيتو J. Peto من معهد البحوث السرطانية في لندن بأنه معجب بأعمال ديفيس، ويسعى للبرهان على مايربط بين سرطان الثدي وبين الإفاضة الهرمونية.

ويحتمل أن تعكس مثل هذه التوافقات مدى التغيرات الحاصلة في أنماط الحمل التي تغير حالة النساء الخاضعات لتأثير الأستروجين. إذ تميل النساء فائضات الأستروجين إلى الحمل في وقت متأخر من حياتهن، كما ينجبن عدداً قليلاً من الأطفال، كما تقول فاليري برال V. Beral، مديرة مؤسسة البحوث السرطانية الملكية ـ وحدة الوبائيات السرطانية في أوكسفورد. إنها تشك في أن يكون للأستروجينات البيئية أي تأثير ولو صغير، هذا إن كان لها أي تأثير. «ليس هناك ارتفاع مفاجيء في معدل الموت من سرطان الثدي منذ تداول مضادات الآفات. لقد بقي معدل التزايد ثابتاً بنحو أدنى من 1% في العام». وفي بريطانيا، يعود تاريخ معدل التزايد إلى بداية هذا القرن، «وقبل تداول مضادات الآفات بوقت طويل»، تقول فاليري.

أكثر من ذلك، تسوق برال الحجج، «إذا كانت مقولة ولف بأن هناك ارتباطاً بين ارتفاع كبير في المخاطرة بحدوث سرطان ثدي وبين فرق صغير في تزايد سوية مضادات الآفات صحيحة، فيجب توقع ارتفاع معدل حدوث سرطان الثدي أضعافاً عديدة خلال الثلاثين أو الأربعين سنة الماضية. إن هذا لايتناسب أبداً مع مانعلمه عن نزعة انتشار سرطان الثدي».

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرة مجلة *New Scientist* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.

10- جرع منخفضة تساعد جمل التصحيح في الخلايا البشرية *

تشير نتائج البحوث أكثر فأكثر إلى أن تعريض الأنسجة الحية إلى جرع منخفضة من الأشعة لايكون عديم الأذية فقط، ولكنه يكون مفيداً. إن فريقاً في مخبر شالك ريفر Chalk River في كندا قد كتب أن الخلايا الجلدية البشرية المعرضة إلى جرعة كلية من 0,5 غراي أعطيت بمعدل 0,5 ملي غراي في الدقيقة تستطيع أن تعزز مقدرتها على تصحيح التكسرات الحادثة في جزيئات حمضها الريبي النووي منقوص الأوكسجين (DNA). وفي وقت مبكر من هذا العام، كتب باحث فرنسي أن التعرض إلى سويات منخفضة من الأشعة يمكن أن يعزز مقدرة الخلايا على مقاومة تأثيرات الجرع العالية جداً (NN,Aug. 1993,P.68).

وكان الفريق الفرنسي يتطلع إلى معرفة فيما إذا كان التشعيع يجعل الخلايا قادرة على التعامل مع تشعيع أكثر بصورة أفضل، ولكن الفريق الكندي الذي قام بدراسة أجراها أ ي عزام E.I.Azzam و س.م دو توليدو S.M. de Toledo، و ج.ب. رافورست G.P.Raaphorst، و ر. ميتشيل R.Mitchell يأمل أن يجعل التشعيع الخلايا في حالة أفضل بصورة عامة، وذلك بتحسين آلية الترميم الذاتي الأساسية.

لقد أخبر ميتشيل مجلة NN أن فريق شالك ريفر يعتقد أنه يجب أن يكون هناك آليتان أساسيتان في استجابة الخلايا إلى جرعة منخفضة. الأولى تقضي أن التشعيع يمكن أن يزيد مقدرة جملة التصحيح

★ عن مجلة *Nuclear News*, December 1993, p.71، ترجمة الدكتور أحمد عثمان ـ عضو اللجنة الاستشارية العلمية ـ هيئة الطاقة الذرية السورية

الخلوية لإنتاج إنزيمات مطلوبة. أما الأخرى فتقضي أن جرعة مزمنة تؤخر عملية الانقسام الخلوي، مانحة الخلية وقتاً أكثر لتصحيح الأذيات قبل القيام بالانقسام. لقد ذكر ميتشيل أن الرؤيا التقليدية لكيفية تأثر الجمل الحية بالتشعيع تكون بإضافة جميع الجرع معاً ويستدل من الأذية مايمكن أن تفعله مثل هذه الجرعة، والآن، وبواسطة بعض الجرع المنخفضة التي يمكن أن تكون مفيدة، يقول ميتشيل أن بعض الجرع يمكن أن تطرح من الاجمالي لإعطاء فكرة أوضح عن كيفية حدوث ضرر ما.

- تشكر إدارة مجلة عالم الذرة مجلة *Nuclear News* للسماح لها بترجمة هذا الخبر ونشره.

ورقات البحوث

استقرار الباي بولارون في الترانس بولي استيلين بوساطة الاقتران بين السلاسل*

محمد خير صبرة
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - دمشق - ص. ب 6091
ج. أ. بلاك مان
قسم الفيزياء - جامعة رِدِنْغ، وايت نايتس، رِدِنْغ RG6 2AF - المملكة المتحدة

ملخص

تُعد الباي بولارونات غير مستقرة في السلاسل البوليميرية المتفسخة (المُتَنَكِّسة) المنفردة لأنها تتفكك إلى سوليتونات وسوليتونات مضادة. بيد أن الاستقرار سيظهر نتيجة الاقتران الإلكتروني بين المدارات π على السلاسل المتجاورة. أجريت الحسابات العددية التي تقدّر الحجم الفضائي للباي بولارون المستقر بوساطة الاقتران بين السلاسل interchain coupling.

المقدمة

حقق فهم الخواص الإلكترونية للبوليميرات الناقلة تقدماً ملحوظاً بعد استخدام النماذج (الطرز) أحادية البعد one-dimensional models وخاصة النموذج SSH [1, 2]، الذي اقترحه سو Su، وشريفر Schrieffer، وهيغر Heeger؛ المستخدم بشكل واسع. أدى تزايد ظهور النتائج التجريبية حول العينات البلورية إلى ازدياد الاهتمام بتأثير الاقتران بين السلاسل.

اعتبرت الدراستان المبكرتان [3, 4] للتأثيرات الناجمة عن وجود ترانس بولي استيلين في حيز ثلاثي الأبعاد، سلسلتين وُصِفت كل منهما بالهاملتوني SSH مع إضافة حد يمثل الوثب hopping الإلكتروني البسيط بين المدارات π على السلسلتين. لقد وجد المؤلفان أن ترتيب الروابط اللامتوازي antiparallel bond arrangement (روابط مضاعفة في إحدى السلاسل في جوار روابط أحادية في سلسلة أخرى)، كان مفضلاً طاقياً على التشكيل المتوازي (الروابط المتجاورة في السلسلتين متشابهة). كما أخذت الإثارات اللاخطية (سوليتون، بولارون، باي بولارون) بعين الاعتبار، وقد تبين أنه في حال وجود سوليتونين على سلسلتين مختلفتين، هناك تقييد confinement لجعل طول التشكيل المتوازي أصغرياً. ولا تعتمد النتيجة بشكل أساسي على شحنة السوليتون لأن الحالة الإلكترونية المتموضعة في ثغرة الطاقة بقيت غير منشطرة مستقلة بذلك عن المسافة الفاصلة بين السوليتونين.

أظهر العمل [5] بأن التشكيل المتوازي للروابط يمكن أن يكون مفضلاً طاقياً إذا كان حد الوثب متناوباً بالإشارة على طول السلسلة. هذا وقد اعتبرت أوراق بحث أخرى [6-9] مفاهيم أخرى للوثب بين السلاسل ضمن النموذج SSH.

حُسبت في العمل المشار إليه طاقة الربط binding energy لسوليتونين متموضعين على سلسلتين مختلفتين. تنشطر حالة ثغرة الطاقة، من أجل سوليتون وسوليتون مضاد موجودين معاً في سلسلة واحدة ويعتمد سلوكهما على شحنة الزوجين. فمن أجل سلسلة منفردة تكون البولارونات (سوليتون وسوليتون مضاد مقيدان مع إلكترون أو ثقب) مستقرة. بينما تكون الإثارات ثنائية الشحنة (الباي بولارونات) غير مستقرة وتتفكك إلى سوليتونين مشحونين ومستقلين. وبالطبع، تكون الباي بولارونات مستقرة في حالة البوليميرات بحالات طاقة دنيا متفسخة.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Polymer, 1990, Vol 31, April. راجعها الدكتور محمد قعقع - لجنة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

يُتوقع أن يكون الباي بولارون مستقراً في البيئة ثلاثية الأبعاد حتى في حالة البوليميرات المتنكسة. إن الميل إلى التفكك في السلسلة المنفردة تُقاومه تكلفة الطاقة المتزايدة مع المسافة الفاصلة بين السوليتون والسوليتون المضاد. تنشأ هذه الطاقة نتيجة ترتيب الروابط غير المرغوب فيه، وسوف يحدد التوازن حجم الباي بولارون.

نسجل في هذا العمل بعض النتائج الطاقية للحسابات العددية التي أجريناها حول وجود الباي بولارون على سلسلة مقترنة مع سلسلة أخرى خالية من إثارات لاخطية. فقد استخدمنا النموذج SSH مع حد وثب بين السلسلتين، وقمنا بتخفيض الطاقة السكونية لسلاسل طويلة إلى الحد الأدنى. تكون السلاسل الأطول من 100 وحدة (CH) كافية لتقريب سلوك السلاسل اللامتناهية.

النموذج والحسابات

اعتمدت الحسابات على الجزء السكوني للهاملتوني SSH من أجل زوج من السلاسل مع حد تأثير متبادل interaction term بسيط بينهما:

$$H=-\sum_{j,n}[t_0+\alpha(u_{j,n}-u_{j,n+1}]a^\dagger_{j,n+1}a_{j,n}-t_1\sum_{n}a^\dagger_{1,n}a_{2,n}$$
$$+\text{h.c.}+(K/2)\sum_{j,n}(u_{j,n+1}-u_{j,n})^2 \qquad (1)$$

حيث $u_{j,n}$ إزاحة الوحدة CH في الموضع n من السلسلة j (j = 1,2) و$a_{j,n}$، $a^\dagger_{j,n}$ مؤثرا البناء والفناء للإلكترونات على الترتيب.

من أجل التشكيل الخاص $\{u_{j,n}\}$ وجدت القيم الخاصة للسلاسل المنتهية بطريقة تقطير المصفوفة (جعلها قطرية). فلقد استخدمنا سلاسل ذات عدد زوجي من الوحدات (N لكل سلسلة) وشروط حدية دورية للتخلص من تأثير النهايات. ولدراسة الباي بولارونات، حسبت الطاقات الكلية E من أجل نظم مؤلفة من 2 + 2N إلكتروناً. يقتضي طيف الطاقة المتناظر حالة تطابق الطاقة الكلية للنظم المؤلفة من 2N-2 إلكتروناً (باي بولارون مع ثقبين) مع الطاقات الكلية للنظم المؤلفة من 2N+2 إلكتروناً.

حصلنا على التشكيل ذي الطاقة الصغرى بصورة تكرارية وذلك بحساب المجموعة $\{\partial E/\partial u_{j,n}\}$ من خلال عملية تقطير المصفوفة 2N+1 مرة وبعد تحسين التشكيل $\{u_{j,n}\}$ باستخدام الخوارزمية:

$$u_{j,n}\rightarrow u_{j,n}+\delta\,\partial E/\partial u_{j,n}$$

حيث اختيرت δ تجريبياً.

بإعطاء تشكيل مبدئي مناسب للإزاحات، فإن التقارب يكون نوعاً ما سريعاً. وجدنا أن الشكل الابتدائي المناسب من الإزاحات للبدء في عملية التكرار معطى بـ:

$$u_{1,n}=(-1)^n u_0\begin{cases}-\tanh[(n-n_1)/\xi] & n<n_0\\ \tanh[(n-n_2)/\xi] & n\geqslant n_0\end{cases} \qquad (2a)$$

$$u_{2,n}=-(-1)^n u_0 \qquad (2b)$$

حيث $n_o = (n_1+n_2)/2$. أوجدنا لقيم المثلى لـ n_1 وn_2 عن طريق التحري. وتمثل القيمة (n_2-n_1) حجم الباي بولارون التقريبي. أجريت الحسابات من أجل أطوال مختلفة للسلاسل. وقد تبين أن الطول N=128 كافٍ لتمثيل السلسلة اللا نهائية.

النتائج

نسرد فيما يلي القيم التي كثيراً ما ترد للدلالة على الوسطاء المستخدمة في النموذج وهي t_o=2.5eV، α =5.6eV $Å^{-1}$، K=40eV $Å^{-2}$. تُعطي القيمتان u_o=0.04Å و ξ = 8 Å في المعادلة (2) شروطاً جيدة للبدء في التكرار. حُسب حجم الباي بولارون l من أجل عدة قيم t_1 لشدة الاقتران بين السلاسل. نعرّف الحجم على أنه عدد المسافات الشبكية الفاصلة بين نقطتين من سلسلة حيث تغير $(-1)^n u_{1,n}$ إشارتها بعد الحصول على الطاقة الدنيا. يُظهر الشكل (1) l كتابع لـ ln t_1. وكما هو متوقع يستقر الباي بولارون بسبب وجود الاقتران بين السلاسل وتزداد طاقة التقييد مع ازدياد t_1.

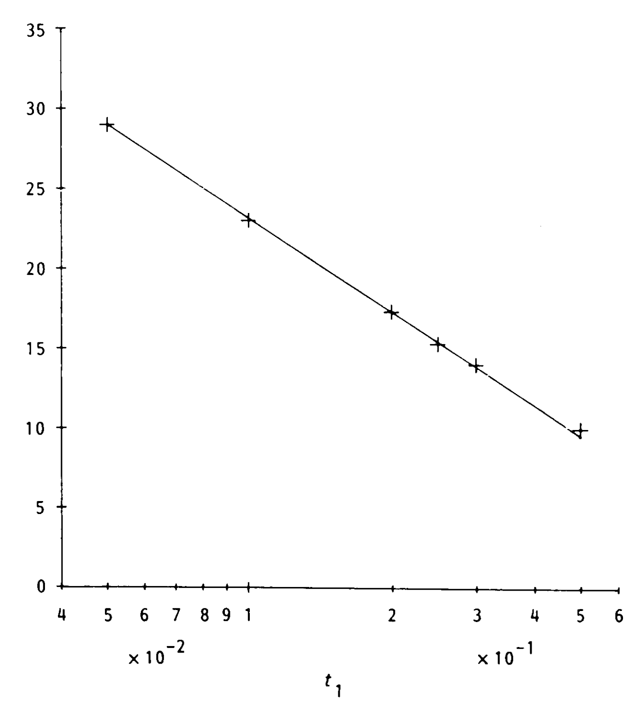
يمكن فهم سلوك الباي بولارون كما يلي: يمكن كتابة الطاقة الكلية بشكل تقريبي على النحو:

$$E=E_0+A\exp(-l/\rho)+Bt_1^2 l \qquad (3)$$

يـ ـا الحد الثاني نتيجة تأثير التراكب overlap بين السوليتون والسوليتون المضاد وهو ما يسبب التفكك في السسلة المنفردة. يأتي الحد الثالث من الاقتران بين السسلتين في تقريب المرتبة الثانية لنظرية الاضطراب وتمثل المسافة l بين السوليتون والسوليتون المضاد طول الترتيب المتوازي غير المرغوب فيه. تعطى قيم l المعبرة عن الطاقة الدنيا بالعلاقة:

$$l = \rho[\ln(A/B\rho) - 2\ln t_1] \qquad (4)$$

يمكن التأكد من أن الشكل 1 يمثل المعادلة (4) بشكل جيد. ويمكن تحديد قيمة ρ من ميل المنحني وهي 4.5 (مسافة شبكية). أما النسبة A/B فيمكن تحديد قيمتها من تقاطع المنحني مع المحور x وهي $8.8eV^2$، تم الحصول على B بفحص طاقة الجملة عندما كانت المسافة بين السوليتون والسوليتون المضاد كبيرة. لذلك يمكن إهمال مساهمة الحد الثاني للمعادلة (3) وبالتالي تكون المعادلة (2) تمثيلاً دقيقاً للإزاحات ضمن هذا القيد. حصلنا على قيمة B ومن ثم قيمة A فوجدناهما $0.125eV^{-1}$ و1.1eV على التوالي.



الشكل 1- الحجم الفضائي l (مسافة شبكية) للباي بولارون من أجل عدة قيم للاقتران بين السلاسل $t_1(eV)$.

تقودنا الحسابات [3-4] من أجل سوليتون على كل سلسلة إلى استنتاج أن B هي $(\pi t_0)^{-1}$ والتي تتطابق مع حساباتنا ضمن الدقة العددية.

الاستنتاج

لقد عرضنا بشكل كمي استقرار الباي بولارون بسبب الاقتران بين السلاسل. على أي حال: فالبولارونات مستقرة والاقتران سوف يعدل وضعها بشكل قليل. القيمة المذكورة لـ t_1 في الدوريات هي 0.1eV والتي تؤدي حسب نتائجنا إلى إيجاد باي بولارون بحجم 23 مسافة شبكية. لكن في ظروف ثلاثية الأبعاد وبوجود أربع سلاسل متجاورة، بدلاً من واحدة، فإن الطاقة الكلية (المعادلة 3) سوف تستبدل 4B بـ B، مما يؤدي إلى وجود حد تقييد إضافي في المعادلة (4) وهو ρ1n 4ـ. من أجل القيمة t_1=0.1eV يتناقص الحجم 23 ليصبح 17.

ألقت بعض التجارب [10] الشك حول أفضلية أن يكون الترتيب اللامتوازي هو حالة الطاقة الدنيا. وأوضح كل من بارسول Baeriswyl وماكي Maki كيفية التوفيق بين هذه النتائج والطراز SSH الموسع. يمكن توسيع الإجراء العددي الموصوف هنا ليشمل هذا الطراز المعقد والعمل قائم للبحث في هذا المضمار. على أي حال: إن وصف تقييد الباي بولارون بدلالة التأثيرات المتنافسة كما هو مصاغ في الحدود المقاربة الممثلة بالعلاقة (4) يجب أن يكون كافياً.

المراجع

REFERENCES

[1] Su, W. P., Schrieffer, J. R. and Heeger, A. J. *Phys. Rev.* 1980. **B22**, 2099; 1983, **B28**, 1138 (E).

[2] Heeger, A. J., Kivelson, S., Schrieffer, J. R. and Su, W. P. *Rev. Mod, Phys.* 1988, **60**, 781.

[3] Baeriswyl, D. and Maki, K. *Phys. Rev.* 1983, **B28**, 2068.

[4] Danielsen, P. L. and Ball, R. C. *J. Phys. (Paris)* 1985, **46**, 131.

[5] Baeriswyl, D. and Maki, K. *Phys. Rev.* 1988, **B38**, 8135.

[6] Gartstein, Y. N. and Zakhidov, A. A. *Synth. Met.* 1989, **28**, D501.

[7] Baeriswyl, D. and Maki, K. *Synth. Met.* 1989, **28**, D507.

[8] Fesser, K. *Synth. Met.* 1988, **25,** 1.
[9] Fesser, K. *Phys. Rev.* 1989, **B40,** 1962.
[10] Kahlert, H., Leitner, A. and Leising, G. *Synth. Met.* 1987, **17**, 467.

Key Words — **الكلمات المفتاح**

1- trans-polyacetylene .... ترانس بولي استيلين
2- bipolarons .... باي بولارون
3- SSH model .... نموذج SSH
4- interchain coupling .... الاقتران بين السلاسل

طريقة مبسطة للتقدير العاجل لأعمار النصف للنكليدات المشعة قصيرة العمر★

توفيق ياسين - ابراهيم عثمان
قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي - هيئة الطاقة الذرّية السورية - دمشق - ص. ب 6091

ملخص

اقترحت طريقة جديدة لتقدير أعمار النصف للنكليدات المشعة قصيرة العمر. تعتمد هذه الطريقة على حساب عمر النصف باستخدام التعداد الكلي خلال فترتين زمنيتين بحيث تكون الفترة الثانية متضمنة الأولى.
الصيغة المقترحة بسيطة وسهلة الإستخدام وخاصة في الحالة التي تكون قيمة فترة التعداد الأولى مساوية لنصف قيمة فترة التعداد الثانية.

مقدمة

إن لأعمار النصف للنكليدات المشعة أو ثوابت تفككها تطبيقات هامة في العلوم والتكنولوجيا النوويتين إذ تميز القيم التي تأخذها هوية النكليدات المشعة؛ كما أن لها دوراً رئيسياً في تحديد معامل تصحيح التفكك وكذلك النمو عند قياس النشاط الإشعاعي، لذا يلزم إجراء قياسات دقيقة لأعمار النصف. تم تطبيق عدة طرائق لتحديد أعمار النصف للنكليدات المشعة [1] ولكن لكل منها بعض المساوىء وتعتبر الطريقة البيانية الأكثر شيوعاً من أجل أعمار النصف، المتوسطة والقصيرة. تعتمد هذه الطريقة على رسم لوغاريتم النشاط المقاس بدلالة الزمن والذي يؤدي إلى خط مستقيم ميله $\lambda = \ln2/T_{1/2}$: حيث λ ثابت التفكك و$T_{1/2}$ عمر النصف.

لاتلائم هذه الطريقة النكليدات المشعة ذات الأعمار القصيرة ولا ضعيفة النشاط الإشعاعي لأن تناقص النشاط في أثناء فترة التعداد مرتبط أسياً بالزمن، مما يؤدي إلى عدم دقة في تحديد موقع معدل التعداد على محور الزمن، وهذا يجعل اختيار منتصف فترة التعداد على محور الزمن غير دقيق [2].

اقترح أهافيا [3] طريقة جديدة لقياس أعمار النصف تعتمد على افتراض أن التعداد الكلي المقاس بين زمنين t_1 و t_2 مساوٍ إلى الفرق في النشاط عند هذين الزمنين، واشتق علاقة تمثل نسبة التعداد الكلي خلال فترتين مختلفتين وتبدآن بنفس اللحظة كتابع لثابت التفكك.

استخدمت العلاقة المشتقة لحساب ورسم النسبة R لعدة قيم نموذجية لأعمار النصف، سميت المنحنيات الناتجة بـ آهاغراف Ahagraph واستخدمت لاستقراء عمر النصف الموافق للنسبة التجريبية R. لهذه الطريقة بعض المساوىء منها ضرورة التحضير المسبق للآهاغراف بغرض الاستقراء وعلاوة عن ذلك فالافتراض بأن هذه الآهاغرافات خطوط مستقيمة صحيح فقط عند جزء صغير من المنحني.

لتحاشي الحاجة لرسم منحنيات الآهاغراف بقصد تقدير $T_{1/2}$، تم اقتراح طريقة تعتمد على حسابات مبسطة تجعل عملية تحديد أعمار النصف سريعة ودقيقة. تعتبر الطريقة المقترحة مفيدة جداً في برامج التحليل بالتنشيط حيث تستخدم أعمار النصف لتمييز الهوية بالإضافة إلى الطاقة وهذا يتطلب تخزين طيف غاما خلال فترتين مختلفتين.

طريقة الحساب

تعتمد هذه الطريقة على رياضيات بسيطة بحيث تتضمن الصيغة الناتجة باستخدامها مجموع معدلات

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Appl.Radiat. Isot.*, Vol.45,No.2,pp.271-273, 1994

التعداد خلال فترات التعداد. إذ من المعروف أن النشاط الإشعاعي لنكليد مشع في أي لحظة زمنية t يعطى وفق قانون التفكك:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

حيث A_t, A_0 النشاط الإشعاعي في اللحظتين صفر و t على الترتيب. وλ ثابتة التفكك.

عند عد نكليد مشع بمردود تعداد ε يمكن تمثيل معدل التعداد في اللحظة t بـ

$$C_t = \varepsilon A_t = \varepsilon A_0 e^{-\lambda t}.$$

يكون التعداد الكلي خلال فترة T مساوياً إلى مجموع معدلات العد خلال هذه الفترة، ولهذا تكون نسبة التعداد الكلي خلال فترتين زمنيتين مختلفتين Tو 'T مساوية إلى نسبة تكاملي معدل العد أثناء الفترتين. وهذا يؤدي إلى

$$\frac{C_{T'}}{C_T} = \frac{1 - e^{-\lambda T'}}{1 - e^{-\lambda T}}. \qquad (1)$$

هذه العلاقة مماثلة لتلك المقدمة من قبل آهافيا [3]. والآن بافتراض أن T'=nt حيث n عدد صحيح يكون لنا:

$$\sum_{i=0}^{n-1} e^{-i\lambda T} - \frac{C_{nT}}{C_T} = 0. \qquad (2)$$

يمكن استخدام المعادلة (2) لتحديد قيم λ أو $T_{1/2}$ بأخذ القيم التجريبية لنسبة تعدادين كليين خلال فترتين مختلفتين تبدآن في نفس اللحظة، وحل المعادلة (2) من أجل أية قيمة لـ n. فمن أجل n=2 نحصل من المعادلة (2) على:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = -\frac{\ln 2}{\ln(C_{2T}/C_T - 1)} T. \qquad (3)$$

ومن أجل n=3 وبأخذ الحل الموجب للمعادلة (2) نحصل على:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{\ln\{2/[\sqrt{1 - 4(1 - C_{3T}/C_T)} - 1]\}} T. \qquad (4)$$

يمكن حساب أعمار النصف بسهولة فائقة باستخدام المعادلتين (3) و (4). بينما من أجل قيم أعلى لـ n= T'/T يكون من الضروري حل معادلة من الدرجة n-1 باستخدام طرائق رياضية مناسبة. استخدمت في هذه الدراسة طريقة نيوتن لحل المعادلة (2).

القسم التجريبي

1- تحضير المنبع

يبين الجدول 1 النكليدات المشعة المختارة لتطبيق هذه الطريقة. تم إنتاج كافة النكليدات المشعة في هذا الجدول باستثناء التكنيشيوم -99m بتشعيع عناصرها بالنترونات الحرارية من منبع نتروني Am-241/Be محاط بشمع البارافين ويعطي تدفقاً نترونياً حرارياً يقدر بحوالي $10^5 n\ cm^{-2} s^{-1}$. خُتم العنصر الدريئة في أنبوب بولي إتيلين وتم تشعيعه. أما التكنيشيوم 99m فقد حصل عليه من مولد تكنيشيوم -99m (CIS فرنسا).

2- اجراءات التعداد

تمت قياسات النشاط الإشعاعي باستخدام مطيافية غاما عالية الفصل. استخدم كاشف جرمانيوم عالي النقاوة HPGe (الحجم الفعال $100\ cm^3$، الكفاءة النسبية 15%) من أجل الكشف وعولج الخرج المضخم باستخدام محلل متعدد الأقنية (4k) نوع Canberra 35+. اختيرت قمة الطاقة الأكثر كثافة لكل نكليد من أجل التعداد. يلخص الجدول 1 الميزات والشروط التجريبية للنكليدات المدروسة.

النتائج والمناقشة

بما أن احصاء التعداد يرتبط بمعدل العد وفترة التعداد، فإنه من المتوقع أن يؤثر هذان العاملان بشكل كبير على صحة ودقة قيم أعمار النصف المحسوبة. أجريت أولاً محاولات لجعل فترات التعداد بتابعية قيم عمر النصف بالصورة الأمثل. أختير التكنيشيوم -99m لهذه الدراسات بسبب توافره وعمره النصفي المناسب (6.02h) والذي يسمح بالتعداد ضمن مجال زمني واسع.

تم تعداد منبع تكنيشيوم -99m ذي نشاط إشعاعي قدره حوالي 350 Bq لفترة قدرها $2x10^4 s$. وسجل التعداد الكلي تحت القمة الضوئية الموافق للطاقة 141keV خلال فترات زمنية قدرها 1000s ثم حسبت قيم عمر النصف من أجل نسب مختلفة

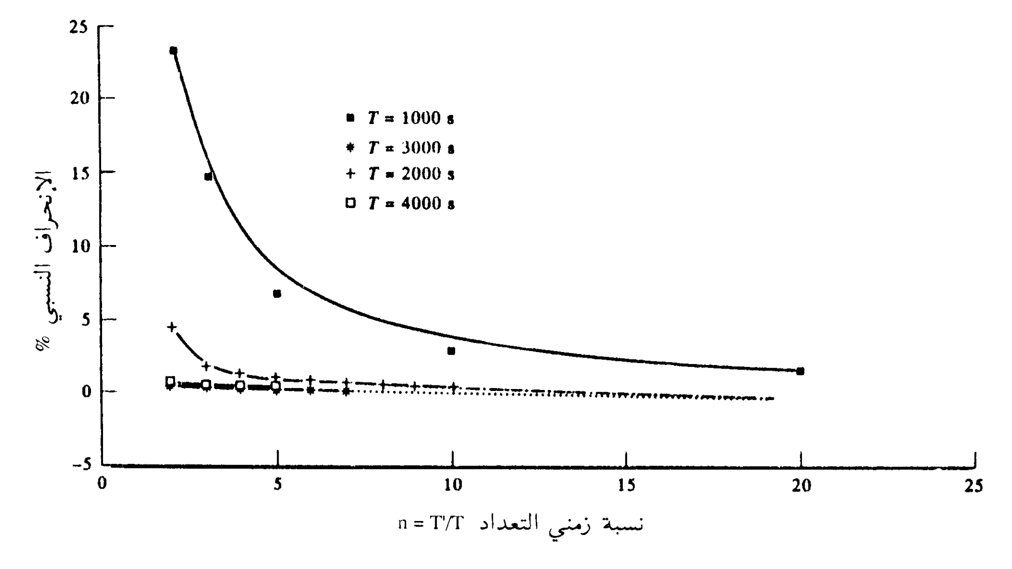
الجدول 1 ــ بعض خواص النكليدات المشعة المدروسة

النكليد	تفاعل الإنتاج	عمر النصف	المقطع الفعال barn	طاقة غاما keV	زمن التشعيع
Mn-56	$Mn^{55}(n,\gamma)Mn^{55}$	2.58 h	13.3	847	20 h
I-128	$I^{127}(n,\gamma)I^{128}$	25 m	443	443	3 h
Ag-108	$Ag^{107}(n,\gamma)Ag^{108}$	2.41 m	633	633	20 m
Ag-110	$Ag^{109}(n,\gamma)Ag^{110}$	24.6 s	89	658	3 m
Tc-99m	$Mo^{99} \rightarrow Tc^{99m}$	6.02 h	—	141	—

لفترات التعداد (n=T'/T) باستخدام المعادلة (2) . تمت مقارنة القيم الحاصلة مع القيمة المدونة 6.02h واعتبر الإنحراف النسبي عن هذه القيمة بمثابة الخطأ النسبي . يبين الشكل 1 تغير الانحراف النسبي لقيم عمر النصف المحسوبة بتغير نسبة زمني التعداد (n=T'/T) والتي تشير إلى أن دقة قيم عمر النصف المحسوبة تزداد عند زيادة فترة التعداد الأولى وعند زيادة نسبة فترة التعداد (n) .

من الواضح أن الخطأ النسبي في حالة T=1000s ($\sim 1/22\ T_{1/2}$) حوالي 23% من أجل (n=2) . تنخفض هذه القيمة إلى حوالي 1.5% من أجل (n=20) كما تؤدي زيادة فترة التعداد الأولى إلى 3000s إلى نتائج دقيقة حيث كان الإنحراف النسبي 0.5% > من أجل أية قيمة لـ: T و n. طبقت هذه الطريقة على نكليدات مشعة ذات أعمار النصف المتباينة آخذين بعين الإعتبار أن تكون فترة التعداد أكبر من $1/8\ T_{1/2}$ واختيرت بأن تكون من أجل النكليدات المشعة ذات الأعمار القصيرة أكبر ($1/5\ T_{1/2} - 1/2\ T_{1/2}$) للسماح في تحسين الإحصاء . تعطى النتائج في الجدول 2 .

تبين هذه النتائج أن القيم المحسوبة لأعمار النصف هي بشكل عام على توافق جيد مع القيم المدونة في الجداول . ويتوضح من الجدول 2 تناقص الإنحراف النسبي من أجل النكليدات المشعة ذات أعمار النصف من مرتبة الساعات (Tc-99m, Dy-165, Mn-56) وبمعدل تعداد حوالي 3-5s ، من حوالي 2% من أجل T= ($1/9\ T_{1/2} - 1/7\ T_{1/2}$) و n=2 إلى أقل من 1% من أجل أية قيم أكبر لـ: T و n . وبينما يتطلب، في حالة النكليدات المشعة الأقصر عمراً بأعمار النصف من مرتبة الدقائق (Ag-108, I-128) وبمعدل عد حوالي 2-5s ومن أجل انحراف نسبي أقل من 1% ، زمن تعداد قدره حوالي $1/5T_{1/2}$ و n=5 أو $1/3T_{1/2}$ مع أية قيمة لـ: n . يملك Ag-110 عمر نصف أقل من نصف دقيقة ويعطى انحرافاً نسبياً منخفضاً جداً



الشكل 1 ــ تغير الإنحراف النسبي مع نسبة زمني التعداد

الجدول 2 ـ أعمار النصف والإنحراف النسبي لبعض النكليدات المشعة والمحددة بالطريقة المقترحة .

النكليد المشع	عمر النصف المجدول	فترة التعداد الأولى	فترة التعداد الثانية	التعداد الكلي الأول	التعداد الكلي الثاني	عمر النصف المحسوب	الإنحراف النسبي %
Tc-99m	6.02 h	3000	6000	12490	23850	6.09 h	1.16
		3000	15000	12490	52025	6.02 h	0.00
		4000	8000	16400	30831	6.02 h	0.00
I-128	25 m	300	600	592	1106	24.53 m	1.88
		300	1500	592	2283	24.83 m	0.68
		600	1200	1106	1943	24.94 m	0.24
Mn-56	2.5 h	1000	2000	3761	7258	2.64 h	2.23
		1000	5000	3761	16291	2.58 h	0.00
		2000	4000	7258	13498	2.55 h	1.16
Ag-108	2.41 n	50	250	235	737	2.41 m	0.00
		100	200	399	646	2.40 m	0.41
Ag-110	24 s	10	20	176	310	24.82 s	0.88
		10	50	176	543	24.59 s	0.54
		20	40	310	486	24.49 s	0.45

(21%) عند معدل عد حوالي 18s و $T>2/5T_{1/2}$ من أجل أية قيمة لـ: n .

تمت مقارنة هذه الطريقة مع طريقة آهافيا حيث أعيد حساب نتائجها باستخدام المعادلة (2) . بدا من المقارنة التوافق بين الطريقتين ، لكن هذه الطريقة تعتبر أسرع بكثير ولاتحوي أخطاء الرسم البياني . من محاذير هذه الطريقة كيفية التعامل مع النكليدات المشعة المجهولة والذي يمكن تجاوزه بإعادة الحسابات من أجل فترات تعداد مختلفة فإذا تم الحصول على نتائج مماثلة من أجل فترات مختلفة يمكن التأكيد على صحة القيمة المحددة .

الخاتمة

طريقة تحديد أعمار النصف للنكليدات المشعة قصيرة العمر دقيقة وسريعة ويمكن تطبيقها من أجل نكليدات مشعة ذات أعمار نصف تمتد بين الثواني وبضعة أيام . تتطلب تعداد المنبع المشع لفترتين زمنيتين الثانية فيهما من مضاعفات الأولى ثم يحسب عمر النصف وفق الصيغة المقترحة .

المراجع

REFERENCES

[1] Friedlander G., Kennedy J. W., Edward S. M. and Miller J. M. (1981) Determination of Half-Lives in Nuclear and Radiochemistry, pp. 308-311. Wiley-Interscience, New York.

[2] Hoffman B. W. and Van Camerik S. B. (1967) A table and method for determining the time representing a count rate observed in reatio nuclear counting. Anal. Chem. 39, 1198.

[3] Ahafia A. K. (1989) Ahagraphs: a new method for the accurate determination of half-lives. Appl. Radiat. Isot. 40, 407.

[4] Lederer C. M. and Shirley V. S. (Eds) (1978) Table of Isotopes, 7th edn. John Wiley, New York.

الكلمات المفتاح

Key Words

1- half life .... عمر النصف

2- short lived radio nuclides .... النكليدات المشعة قصيرة العمر

3- decay constant .... ثابتة التفكك

4- Tc-99m .... تكنيشيوم ـ99m

5- I-128 .... يـود-128

6- Mn-56 .... منغنيز-56

7- Ag-108 .... فضـة-108

8- Ag-110 .... فضـة-110

التقارير العلمية

تطوير طريقة في التحليل الحجمي لتحديد اليورانيوم في حمض الفسفور السوري وفي المذيب DEHPA/TOPO المشحونين باليورانيوم*

يحيى قدسي - حبيب شليويط
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - دمشق - ص. ب 6091

ملخص

تتضمن هذه الورقة تطويراً لطريقة معايرة حجمية لتحديد اليورانيوم في كل من حمض الفسفور السوري والمذيب المشحونين باليورانيوم، حيث يتم استخدام هذه الطريقة بنجاح لمراقبة عمل الوحدة المصغرة لاستخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور السوري، بينما كانت تستخدم لتحديد اليورانيوم في العينات الصلبة فقط. ويمكن إيجاز هذه الطريقة بما يلي:

استخدام زيادة من أيونات الحديدي في وسط من حمض الفسفور المركز وحمض السلفاميك، ثم أكسدة أيونات الحديدي بحمض الآزوت باستخدام موليبدات الصوديوم كوسيط والزيادة من أيونات الحديدي تقوم باختزال U^{6+} إلى U^{4+}، ومن ثم يتم اختزال أيونات الحديد إلى حديدي بوجود U^{4+} عند تمديد المحلول بالماء. ويعاير كلا من U^{4+} وFe^{2+} بواسطة ديكرومات البوتاسيوم باستخدام سلفونات ثنائي فينيل أمين الباريوم كمشعر.

مقدمة

على الرغم من التطور الهائل لطرائق التحليل الآلي ومكانتها المرموقة حالياً في مجال التحليل الكمي فإن الطرائق التقليدية لا تزال تحتفظ بأهمية كبيرة لتحليل اليورانيوم في محاليله المركزة نسبياً خاصة وأنها تعطي النتائج في وقت مقبول نسبياً وبصورة خاصة عند تحليل اليورانيوم في حمض الفسفور الخام المشحون أو في الطور العضوي المشحون، حيث يكون تركيز اليورانيوم فيها مرتفعاً. وتمكن طرق المعايرة الحجمية من تحديد اليورانيوم دون الحاجة لفصله مسبقاً (من طوري الاستخلاص سائل - سائل) حتى بحضور أيونات النترات والحديد والبلوتونيوم وغيرها من الأيونات التي تشكل تداخلاً معيقاً عند استخدام طرائق التحليل الآلي.

ويمكن إيجاز هذه الطريقة بما يلي: [1, 2, 3]

- استخدام زيادة من أيونات الحديدي Fe^{2+} في وسط من حمض الفسفور المركز وحمض السلفاميك، ثم أكسدة أيونات الحديدي بحمض الآزوت باستخدام موليبدات الصوديوم كوسيط تفاعل، والزيادة من أيونات الحديدي تقوم باختزال U^{6+} إلى U^{4+}.

- تختزل بعد ذلك أيونات الحديد إلى أيونات الحديدي بوجود أيونات U^{4+} عند تمديد المحلول بالماء المقطر وفق المعادلات المبينة أدناه:

$$2Fe^{2+} + HNO_3 + 2H^+ \longrightarrow 2Fe^{3+} + HNO_2 + H_2O$$

$$HNO_2 + NH_2SO_3H \longrightarrow H_2SO_4 + N_2 + H_2O$$

$$Fe^{2+} + U^{6+} \xrightarrow{H_3PO_4\ Concent} Fe^{3+} + U^{4+}$$

$$U^{4+} + 2Fe^{3+} \longrightarrow U^{6+} + 2Fe^{2+}$$

وأخيراً يعاير كل من U^{4+} و Fe^{2+} بواسطة 0.050 N ديكرومات البوتاسيوم باستخدام سلفونات ثنائي فينيل أمين الباريوم كمشعر.

$$3Fe^{2+} + Cr^{6+} \longrightarrow 3Fe^{3+} + Cr^{3+}$$

$$3U^{4+} + 2Cr^{6+} \longrightarrow 3U^{6+} + 2Cr^{3+}$$

* تقرير عن بحث علمي أنجز في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

طريقة العمل [1, 4, 5]

يؤخذ 15 ml من العينة الحاوية ما بين 9-300 mg يورانيوم ويضاف إليها على التوالي:

5 ml من حمض السلفاميك 5 M، 40 ml حمض فسفور مخبري مركز، 5 ml كبريتات حديدي، 5 ml من محلول (حمض نتريك 0.4 M / حمض السلفاميك 0.1 M)، ثم يضاف 1 ml من موليبدات الصوديوم 1%. يخض المزيج ويترك ليهدأ، ويضاف بعد ذلك 25 ml حمض كبريت نقي 9 M و200 ml ماء مقطراً ثم 2 ml من المشعر سلفونات ثنائي فينيل أمين الباريوم 0.04%. ويعاير المحلول أخيراً بثنائي كرومات البوتاسيوم 0.050 N وتحسب كمية اليورانيوم وفق العلاقة:

$$U (mg/L) = C (A-B)/V$$ محتوى اليورانيوم

حيث A: حجم ثنائي الكرومات المضافة.

B: حجم ثنائي الكرومات اللازمة لمعايرة البلانك (الشاهد).

C: كتلة اليورانيوم المكافئة لإضافة 1 ml من ثنائي الكرومات، وقد وجد أنها تعادل 0.9591 mgU.

V: حجم العينة ml.

مناقشة النتائج ومجال الطريقة [2, 4, 6]

يبين الجدول التالي مقارنة بين كمية اليورانيوم المقيسة تجريبياً بالطريقة الحجمية وكمية اليورانيوم المعلومة.

وبذلك يمكن تطبيق هذه الطريقة على محاليل عضوية ومائية تحتوي على ما بين: 9 mg-300 mg يورانيوم /15 ml وبدقة 5% حيث يبين الجدول السابق أن الفرق بين كمية اليورانيوم المقيسة تجريبياً والكمية النظرية هي بحدود 5% تقريباً بغض النظر عن كثير من التداخلات عدا تداخل كل من Br, V, I, Ag وبتراكيز عالية نسبياً [7, 8].

الخاتمة

إن طرق المعايرة الحجمية لتحديد اليورانيوم [1, 6] تطبق عادة على العينات الصلبة التي تحتوي على > 0.5% في أوساط حمضية من حمض الكبريت أو حمض الآزوت، حيث قمنا بهذه الدراسة بتكريس هذه الطرق لتحديد اليورانيوم في المحاليل العضوية المستخدمة في العمليات المستمرة لاستخلاص اليورانيوم وحمض الفسفور السوري على السواء وذلك بتعديل بعض الإضافات في طريقة العمل.

وتمكنا بذلك من حل مشكلة تحديد اليورانيوم بالطورين المائي والعضوي بالسرعة والدقة المناسبتين لمراقبة عمل وحدة الاستخلاص المستمرة لليورانيوم، متحاشين بذلك التداخلات المعدنية (أهمها الحديد).

رقم العينة	كمية اليورانيوم المعلومة		كمية اليورانيوم المقيسة تجريبياً			وسطي القياس	الفرق
	غ/ل	مغ/15ml	قياس أول	قياس ثاني	قياس ثابت	مغ/15ml	غ/ل
1	0.667	10.00	10.02	10.03	10.30	10.17	0.012
2	3.333	50.0	50.71	51.00	50.80	50.80	0.053
3	6.666	100.0	103.00	105.00	103.50	103.80	0.253
4	10.00	150.0	151.00	158.00	152.00	153.70	0.247
5	13.33	200.0	206.20	207.00	206.00	206.40	0.427
6	16.667	250.00	260.00	257.00	258.30	258.30	0.553

المراجع

REFERENCES

[1] W. Gray and W. Davis. India Bombay B, A, R, C (1964). A rapid and specific volumetric method for the precise derermination of uranium.

[2] V. K. Manchanda, G. a. Rama Rao, and P. R. Nataraijan, Radio Chemistry Divission, BARC (India), 1982.

[3] N. Glenca. (1965).

[4] Personal communication with the Indian sceintists training course in the BARC (India), Habib Shlweit.

[5] J. Basset, R. C. Denney, G. H. Jeffery and J. Mandhem. Long Man (1978). Text Book of Quantative Inorganic Analyses.

[6] IAEA, P. 1, 82, 121. (1972). Analytical

Chemistry of Nuclear Fuels.

[7] O. Suschny IAEA (1972). Introduction to the Problems of Uranium Analyses.

[8] Duoglas A. Skog. Dounald W. West CBS Colege Publishing P. 156. Fundamentals of Analytical Chemistry.

Key Words — **الكلمات المفتاح**

1- volumetric titration .... المعايرة الحجمية
2- DEHPA/TOPO .... DEHPA/TOPO المذيب
3- Syrian phosphoric acid .... حمض الفوسفور السوري
4- uranium extraction .... استخلاص اليورانيوم
5- liquid-liquid extraction .... استخلاص سائل ـ سائل
6- uranium determination .... تعيين اليورانيوم

مستقبلات عوامل النمو كمستهدفات للمعالجة بالأضداد*

محمد عادل باكير
قسم البيولوجيا والصحة الإشعاعية ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ دمشق ـ ص.ب 6091

ج . دين ـ ج . ستايلس ـ م . فاليري ـ هـ . موجتهيدي ـ ج . بابيتش ـ س . اكلز
قسم الفيزياء، وشعبة علم المناعة ـ معهد الأبحاث السرطانية ومشفى مارسدن الملكية ـ
ستون ـ سري ـ المملكة المتحدة

ملخص

تقدم ورقة البحث هذه وصفاً لتحضير الأضداد وحيدة النسيلة (mAbs) الموجهة ضد منتجات المورثة مولدة الورم c-erbB-2 المتجسدة على السلالة الخلوية لسرطان الثدي BT474 واستخدام واحد من هذه الأضداد (ICR12) في التوضع النوعي لأورام الطعوم المغايرة (xenografts) التي تبدي فرطاً في تعبير c-erbB-2 gp185 . ترشح الدراسة الحالية الضد وحيد النسيلة (ICR12) للاستخدام السريري بأمل واعد .

1- مداخل

لقد تم تحديد عدد قليل من المستهدفات targets النوعية للأورام البشرية human tumours بخلاف الأورام المحرضة كيميائياً في القوارض rodent والتي غالباً ما تركب مستضدات antigens ورمية نوعية . إن الاكتشاف الذي وضح أن مستقبل receptor عامل النمو البشروي epidermal growth factor (EGF) ومستقبل المنتجات الخاصة بـ c-erbB-2 و c-erbB-3 تركب بافراط في الكارسينومات شائكة الخلايا squamous cell carcinoma والأورام الغدية glandular tumours والكارسينومات الغدية adenocarcinomas [1, 2, 3] ، أو الكارسينومات [4] على التوالي، يقترح أن الوجوه الخارجية لهذه العائلة من المستقبلات ومستقبلات افتراضية يمكن أن تكون مستهدفات فعالة لأضداد نوعية .

إن منتج المورثة مولدة الورم الابتدائية c-erbB-2 عبارة عن بروتين سكري عبر غشائي بوزن 185 كيلودالتون [5, 6] . وهو عبارة عن نظير البروتين البشري (الإنساني) للمورثة المحمولة neu والتي وجدت في السلالات الخلوية للأورام الجذعية العصبية neuroblastoma في الجرذ المشتقة من أورام محرضة في الرحم بواسطة مركب ethylnitrosourea [7, 8] ، والذي يبدي تماثلاً كبيراً لمستقبلات الـ EGF .

يحدث عند مرضى سرطان الثدي فرط في تعبير المورثة مولدة الورم c-erbB-2gp185 بنسبة 15-20% من الأورام [11] ويكون الانذار عند هؤلاء المرضى سيئاً [1 ,12] ومن المحتمل أن يكون ذلك ناجماً عن تعنيد (عدم استجابة) هذه الأورام للمعالجة الهرمونية [13] والمعالجة الكيميائية [14] . وإن انخفاظ مستويات منتجات تعبير المورثة c-erbB-2 في معظم النسج السليمة يجعل فرط تعبير إنتاج هذه المورثة مستهدفاً ورمياً نوعياً لقد قمنا بتوليد عدد من الأضداد وحيدة النسيلة (mAbs) مختلفة النمط المتماثل isotype ونوعية لمحددات مستضدية epitope لمستقبلات بشرية لـ EGF وضد منتجات المورثة المولدة للورم الابتدائية c-erbB-2 وذلك بقصد استخدامها العلاجي . نقدم فيما يلي وصفاً لتحضير الأضداد وحيدة النسيلة الموجه ضد منتجات c-erbB-2 المركب من قبل خلايا السلالة الخلوية لسرطان الثدي BT 474 . ومن ثم

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Mutant Oncogenes Targets for Therapy*, London, 1993.

استخدام واحدٍ من هذه الأضداد وهو ICR12 للتوضع المناعي لأورام الطعوم المغايرة والتي تبدي فرطاً في تعبير c-erbB-2 gp^{185} .

2- المواد والطرائق

2-1- السلالات الخلوية

تم الحصول على السلالات الخلوية لسرطان الثدي BT 474 ، MDA MB 453 ، MDA MB 361 ، MDA MB 468 و MCF-7 والسلالة الخلوية لكارسينوما المبيض SKOV3 والكارسينوما شائكة الخلايا LICR - LON - HNS من قبل الدكتور O'Hare . حفظت هذه السلالات في وسط Dulbecco's modified Eagle's mecium (DMEM) المضاف إليه 10% مصل جنين العجل والمضادات الحيوية: بنسيلين، ستربتومايسين والنيوميسين.

2-2 تحضير الأضداد وحيدة النسيلة الجرذية

منعت جرذان من السلالة CBH/cbi ثلاث مرات عن طريق Péyer's Patches [32] بالسلالة الخلوية لسرطان الثدي BT 474 التي تبدي فرطاً في تعبير المورثة المولدة للورم c-erbB-2 ، ثم أخذت الخلايا من العقد اللمفاوية المساريقية بعد ثلاثة أيام من التمنيع الأخير ودمجت fused مع خلايا ورم نقوي myeloma جرذية Y3. Ag 1,2,3 وبعد 7-12 يوماً أجريت احتبارات غربلة screening على الرشاحات الخلوية للأضداد التي ترتبط نوعياً مع منتجات المورثة المولدة للورم الابتدائية c-erbB-2 على خلايا السلالة MDA-MB 361, BT 474 والسلالة الخلوية SKOV3 . ثم عزلت الخلايا النغلة (الهجينة) Hybridomas من الآبار التي أبدت تفاعلاً إيجابياً، ثم بعد ذلك تنسيلها لمرتين ثم اختبرت قدرتها على تلوين الأغشية المأخوذة من مقاطع مجمدة لنسيج سرطان ثدي معلوم أنه ينتج بافرط منتجات المورثة c-erbB-2 .

2-3- تحديد النمط المتماثل وتنقية الأضداد وحيدة النسيلة

يتم تحديد النمط المتماثل للأضداد باستخدام مقايسة أسر الضد antibody capture assay [15] . تعزل الأضداد ذات الأنماط IgG_{2a} و IgG_{2b} من سائل الجبن أو رشاحة المزارع الخلوية بالترسيب بكبريتات الأمونيوم بنسبة إشباع 45% وتنقى باستخدام تقانة الكروماتوغرافيا التبادل الأيوني ion-exchange chromatography في الوسط السللوزي DE - 52 (whatman Ltd, Maidstone, Kent) كما وصفت سابقاً [16]. أما أضداد IgA فتعزل من رشاحة المزرعة الخلوية باستخدام كروماتوغرافيا الألفة affinity chromatography في وسط من Sepharose المرتبط مع أضداد محضرة في الماعز للجرذان α .

2-4- الترسيب المناعي و Western blotting

يوسم بروتين خلايا السلالة الخلوية MDA MB 361 شعاعياً بالحضن لمدة 16-20 ساعة بوجود ^{35}S-methionine بفعالية إشعاعية قدرها 200 ميكروكوري لكل حجيرة زرع سعة 25 سم^2 . ثم، وبعد الغسل، تستخلص الخلايا في 1 مل من محلول ملحي موقي بالفوسفات (PBS) الحاوي على 1% من Triton X-100 و10^{-4} مول من methyl sulphonyl chloride و 0.02% صوديوم ايزايد NaN_3 . بعد ذلك ترسب مناعياً بروتينات نوعية من هذه الخلاصة كما وصف سابقاً [16] باستخدام حبيبات Sepharose (4B) المغطاة إما بضد وحيد النسيلة نقي أو جسم مضاد لضد وحيد النسيلة مرتبط مع $F(ab')_2$ جرذي (ضد حذف منه الجزء Fc). تحلل البروتينات بطريقة الرحلان الكهربائي SDS-PAGE باستخدام هلام مرجعة بنسبة 6% ثم يجرى عليها تصوير شعاعي ذاتي على فيلم Fuji RX بشاشة ذات تكثيف سريع من التنغستين. ولإجراء طريقة Western blots تستعمل خلاصات غير موسومة شعاعياً وتسبر بضد وحيد النسيلة جرذي موسوم باليود - 125 .

2-5- تحديد المحدد المستضدي «epitope» الرابط

يوسم كل ضد من الأضداد وحيدة النسيلة باليود _ 125 (تم الحصول عليه من Amersham International على شكل يود الصوديوم $Na^{125}I$) بفعالية نوعية حوالي 15 مكروكوري/مكروغرام. وتحضر ممددات لكل واحد من الأضداد غير الموسومة وتختبر قدرتها على تثبيط ارتباط كل من الأضداد الموسومة باليود _ 125 مع خلايا MDA MB 361 النامية على شكل طبقة أحادية لمرحلة الاحتشاد في صفائح ذات 96 بئراً من النوع Nunc . وعندما

يثبت أن أحد الأضداد يثبط ارتباط ضد آخر بنسبة أكثر من 80% يعتبر هذان الضدان يربطان نفس ال epitope .

6-2- تحديد الفعالية المناعية ودرجة ألفة الضد وحيد النسيلة

تحدد الفعالية المناعة immunoreactivity للأضداد وحيدة النسيلة الموسومة باليود ـ 125 بطريقة مماثلة لتلك الموصوفة من قبل لندمو وزملائه [17] . يثبت مستضد c-erbB-2 الموجود في المستخلص Triton X-100 للخلايا MDA MB 361 على حبيبات Sepharose 4B المرتبطة مع ضد نوعي . يتم اختيار الضد لتثبيت المستضد بحيث لا يحدث تفاعلات مصالبة مع الضد الموسوم باليود ـ 125 المراد اختباره والذي تحدد ارتباطه بعدئذ بوجود كمية مفرطة من المستضد . وتحدد ثوابت التفكك من خلايا اختبار Scatchard plots وذلك من المعطيات الناجمة عن ارتباط الضد الموسوم باليود مع المستضد بوجود كمية مفرطة من الضد . في هذه الحالة يثبت المستضد c-erbB-2 على سطح صفيحات ذات 96 بئراً باستخدام ضد نوعي لل c-erbB-2 لا يتفاعل بصورة مصالبة مع الضد الخاضع للدراسة .

7-2- دراسات التوزع في الحي «in-vivo»

توسم الأضداد وحيدة النسيلة باليود 125 أو اليود - 131 باستخدام ال iodogen [18] وهو مادة تقوم بأكسدة اليـــود إلى I^{+} وباليود -124 باستخـــدام (NBS, N-bromosuccinimide) [19] بفعالية نوعية 1 مكروكوري/مكروغرام . ولوسم الضد ICR12 بالانديوم -111 (^{111}In) ، يتم أولاً ربط الضد مع ممخلب للمعدن metal chelating agent وهو مركب (diethylene triamine pentaacetic) باستخدام bicyclic anhydride ($_{cc}DTPA$) المقترحة من قبل كريجكاريك [20] . ثم يجرى الوسم بعدئذ بـ ^{111}In . أما وسم ICR12 بال ^{99m}Tc فيجري بعد مفاعلة الضد مع مركب Succinimidyl 5-hydrazinium nicotinate hydrochloride SHNH المزود من قبل (Johnson Matthey,West Chester, Pennsylvania, USA)

يجري الحقن الوريدي لمجموعات من الفئران من النوع عديم الغدة التيمية «athymic» الحاملة تحت الجلد وعلى الجانبين لأورام السلالات الخلوية MDA MB 361 أو $SKOV_3$ أو HNS بمزيج من 5 مكروغرام من كل من الضد الموسوم ICR12 أو ALN/11/53 (ضد شاهد من النمط المتماثل وموسوم بنظير مشع مختلف) بفعالية نوعية قدرها 1 مكروكوري/مكروغرام . ثم تقتل مجموعات من الفئران يتراوح عددها من 4- 6 فئران بعد 24 ، 48 ، 120 ساعة بعد الحقن ويجري تحديد الفعالية الإشعاعية في عينات موزونة من الدم والرئتين والكبد والكلى والطحال والأورام . ويعبر عن النتائج كنسبة مئوية للجرعة المحقونة في كل غرام من النسيج (% ID/g) وكمشعر للتوضع (LI, localization index) على النحو التالي:

$$(LI) = \frac{\text{النسبة المئوية لجرعة الضد النوعي المحقونة في كل غرام من النسيج الورمي/ نفس النسبة في الدم}}{\text{النسبة المئوية لجرعة الضد اللانوعي المحقونة في كل غرام من النسيج الورمي/ نفس النسبة في الدم}}$$

3- النتائج

1-3- إنتاج وانتقاء الأورام الهجينة

لكي نفرق بين الأضداد التي تتعرف على بروتين c-erbB-2 والأضداد التي تتفاعل مع مستضدات أخرى تتوضع على السطح الخلوي للسلالة الخلوية لسرطان الثدي، تم إجراء اختبارات غربلة على رشاحات المزارع الخلوية للأورام الهجينة وذلك على ثلاثة أنـــواع من السلالات الخلوية وهي BT 474 وMDA MB 361 و MCF-7 والتي أبدت فرط تعبير كبير أو متوسط أو خفيف في منتجات c-erbB-2 [16, 21] . ومن إجراء سلسلتين من الدمج الخلوي تم تحضير ما مجموعه عشرة أضداد وحيدة النسيلة من منشأ جرذي والتي تتفاعل بشكل نوعي مع الوجه الخارجي لمنتجات المورثة المولدة للورم c-erbB-2 gp^{185} (الجدول 1) . وباستثناء ضد واحد من الصنف IgA(class) وواحد من تحــت الصنـــف IgG2a (subclass) ، كانت جميع الأضداد من النمط المتماثل IgG2a . استطاعت جميع الأضداد الارتباط مع الخلايا الحية ومقاطع مجمدة لنسيج سرطان ثدي يبدي فرطاً في تعبير منتجات c-erbB-2 كما استطاعت أن ترسب نوعياً المكونة gp^{185} من الخلايـــا الموسومـــــة بـ ^{35}S- methionine المستخلصة في Triton X-100 . كذلك لم يـــلاحظ

الجدول 1- الأضداد وحيدة النسيلة الجرذية المضادة لبروتين المورثة المولدة للورم c-erbB-2.

mAb	النمط المتماثل	المحددات المستضدية *A*	*B*	*C*	*D*	*E*	تلون المقاطع البارافينية	*W-blots p185*
ICR12	IgG2a	+					+	+
ICR13	IgG2a		+				−	−
ICR17	IgA		+				−	−
ICR27	IgG2a		+				−	+
ICR50	IgG2a		+				-	−
ICR51	IgG2a		+				−	−
ICR52	IgG2b			+			−	−
ICR53	IgG2a				+		−	−
ICR54	IgG2a					+	+	+
ICR55	IgG2a					+	+	+

ارتباط أي من الأضداد أكثر من الخلفية background مع خلايا السلالة الخلوية للكارسينوما شائكة الخلايا من منشأ بشري HN5 والتي تبدي فرطاً في تعبير مستقبل EGF ولا تبدي نتاج المورثة المولدة للورم c-erbB-2. نستخلص من ذلك أن أضداد منتجات المورثة المولدة للورم c-erbB-2 لا تحدث تفاعلات مصالبة مع مستقبلات EGF بالرغم من أن 43% تماثل في التتالي المورثي الخاص بالوجه الخارجي لها.

2-3- الأضداد وحيدة النسيلة التي تميز خمس محددات مستضدية مختلفة

أكدت تجارب المقايسة المناعية المشعة التنافسية أن الأضداد ترتبط مع واحد من خمس محددات مستضدية متميزة على الوجه الخارجي لـ gp^{185} المنتجة من السلالات الخلوية BT 474 أو MDA MB 361 أو SKOV3 (الجدول 1). اعطت ثلاثة من الأضداد وهي ICR12 (يميز المحددة المستضدية A) و ICR53 و ICR55 (يميزان المحددة المستضدية E) نتيجة تلوين غشائي إيجابي لنسج مأخوذة من أورام تبدي فرطاً في تعبير المورثة المولدة للورم c-erbB-2 ومثبتة بالفورمول والمصل الفيزيولوجي والمغمورة بالبارافين، كما لونت بروتين وزنه 185 كيلودالتون في اختبار Western blots

3-3- الضد ICR12

تم اختيار الضد ICR12 من السلسلة الأولى من الأضداد وحيدة النسيلة لإجراء دراسات أخرى وذلك بسبب درجة ألفته الكبيرة high affinity وقدرها 2.0×10^{10} لتر/مول$^{-1}$ وفعاليته المناعية الثابتة والتي تجاوزت 75% بعد الوسم بعدد من النكليدات المشعة. وأظهرت نتائج التلوين الكيميائي الخلوي المناعي immunocyto chemical staining لنسيج ثدي طبيعي والأورام التي تبدي فرطاً في تعبير منتجات المورثة المولدة للورم c-erbB-2 عدم وجود أي تفاعل بين هذا الضد ونسيج الثدي الطبيعي بما في ذلك النسج القريبة من مناطق الورم. أشارت تلك النتائج إلى احتمال الفائدة الكبيرة في استخدام هذا الضد كعامل تصوير ومضاني مشع في سرطان الثدي (RIS, radioimmunoscintigraphy) وكذلك فإن إمكانية استخدامه في تلوين النسج المثبتة بالفورمالين والمغمورة بالبارافين أضافت فائدة أخرى في القيام بدراسة راجعة في المرضى المصابين بسرطان ناكس.

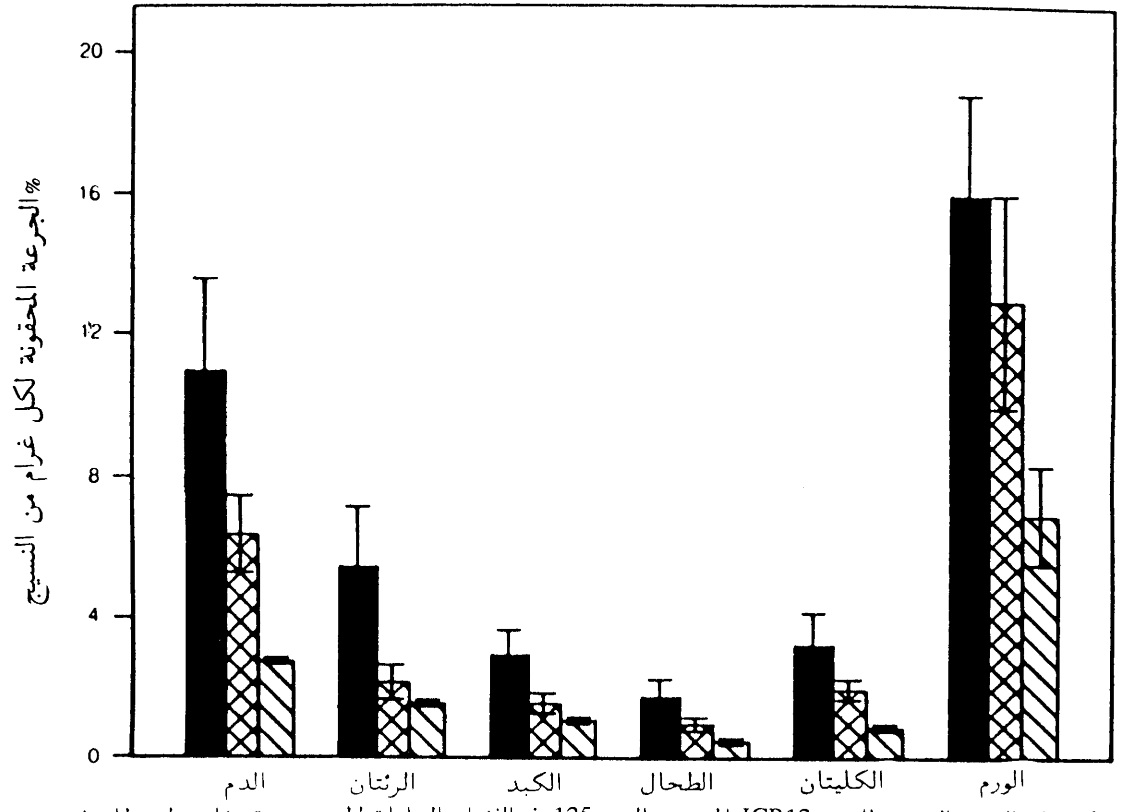
4-3- دراسات التوزع في الحي in-vivo

لتقييم ملاءمة الضد ICR12 في الكشف عن مواضع الأورام، تمَ وسمه باليود المشع باستخدام مولديود iodogen، تبع ذلك اختباره من حيث ملاءمته للتخزين. دلت النتائج على أن الضد ICR12 الموسوم باليود المشع ثابت بصورة كبيرة في محلول PBS بدرجة حرارة قدرها 4 درجات مئوية. ولدى حضنه في البلاسما لمدة 6 أيام وبدرجة حرارة قدرها 37 درجة مئوية. كان مقدار انفكاك النظير المشع الواسم أقل من 5%.

لاختبار الحركية الصيدلانية pharmacokinetics ولتوزع الحيوي biodistribution للضد ICR12 في الحي، أجري الحقن الوريدي للفئران عديمة التيموس الحاملة لطعوم ورمية مغايرة MDA MB 361 بمزيج من ICR12 الموسوم باليود-125 والضد المصالب ALN/11/53 من نمط متماثل وذلك كشاهد. ثم تقتل الحيوانات بعد 24، 48، 120 ساعة بعد الحقن ويحدد التوزع النسبي لكل من الضدين في الدم والنسج الأخرى. أظهرت النتائج أنه بينما كانت مستويات الضدين في النسيج الطبيعي متماثلة في جميع الأزمنة التي اختبر التوزع فيها، أعطى الضد ICR12 نسبة توضع كبيرة ومستمرة في أورام MDA MB 361 (الشكل 1) والتي تبدي فرطاً في تعبير المورثة المولدة لورم c-erbB-2. كان قبط الضد الشاهد من قبل الأورام أقل من 4% من الجرعة المحقونة لكل غرام من النسيج (ID/g %) بعد 24 ساعة وانخفضت هذه النسبة إلى أقل من 2% بعد 120 ساعة.

تم الحصول على توضع ورمي نوعي جيد عندما حقن ^{125}I-ICR12 في الفئران عديمة التيموس الحاملة لطعوم ورمية مغايرة لكارسينوما المبيض SKOV3 والتي تبدي فرطاً في تعبير منتجات c-erbB-2 ومستقبلات EGF. وعند إجراء دراسة مماثلة باستخدام فئران عديمة التيموس حاملة طعوم ورمية مغايرة لكارسينوما شائكة الخلايا البشرية HN5 والتي تبدي فرطاً في تعبير مستقبلات EGF بدون فرط في تعبير c-erbB-2 كان قبط الورم للضد ICR12 مماثلاً للضد الشاهد ALN/11/53 وأقل من 4% من الجرعة المحقونة لكل غرام من النسج في جميع النقاط الزمنية المدروسة (الجدول 2).

وتم الحصول على توضع ورمي نوعي جيد عندما وسم الضد ICR12 بالانديوم -111 (^{111}In) و ^{99m}Tc باستخدام عوامل رابطة ممخلبة chelate conjugate (الجدول 2). ومهما يكن من أمر، فقد لوحظت زيادة كبيرة في القبط في الكبد و/أو الكليـة (8-10%)



الشكل 1- التوزع الحيوي للضد ICR12 الموسوم باليود 125 في الفئران الحاملة لطعوم ورمية مغايرة لسرطان ثدي بشري MDA MB-361.

■ 24h, ▩ 48h, ▧ 120h

الجدول 2- توضع الضد ICR12 في الطعوم الورمية المغايرة.

نظير	الضد وحيد النسيلة	ورم	القبط (*Mean %ID/g ± s.d.*)	
			24 h	*48 h*
I-125	ICR12	MDA MB 361	16.0 ± 2.8	13.0 ± 3.0
I-131	"	"	16.3 ± 4.9	12.3 ± 2.4
I-124	"	"	12.6 ± 2.1	10.4 ± 2.7
Tc-99	"	"	15.5 ± 3.5	n.d.
In-111	"	"	14.8 ± 2.1	17.0 ± 2.8
I-125	"	SKOV 3	12.2 ± 3.4	13.2 ± 2.2
I-131	"	"	13.6 ± 2.9	10.6 ± 1.8
Various	ALN/11/53	متنوعة	3.9 ± 0.7	2.2 ± 0.8

n.d. = غير معينة

و 5-17%)، من الجرعة المحقونة بكل غرام من النسيج على التوالي مقارنة مع الضد الموسوم باليود المشع (3-4%) في كلا النسيجين. يتفق هذا مع ما وجده باحثون آخرون استخدموا عوامل رابطة مماثلة مع أضداد أخرى. وهناك أهمية خاصة في الحصول على نتائج جيدة باستخدام الضد ICR12 الموسوم باليود-124 (الجدول 2) والذي يتفكك بالاصدار البوزتروني positron emitter حيث تم الحصول على قبط ورمي كبير مع مستويات قبط منخفضة في النسج الطبيعية.

4- المناقشة

لقد قمنا بتحضير أضداد وحيدة النسيلة مضادة لخمس محددات مستضدية متميزة على الوجه الخارجي للبروتين السكري عبر الغشائي الناتج عن المورثة المولدة للورم الابتدائية c-erbB-2. لم يلاحظ أي تفاعل مصالب بين أيٍ من هذه الأضداد ومستقبل EGF ذي الصلة القريبة بالرغم من تماثلها بنسبة 45%. ومن الجدير بالذكر أنه لم يستطيع أي من هذه الأضداد تثبيط نمو الخلايا الورمية (في الزجاج in-vitro) التي تبدي فرطاً في تعبير نتاج المورثة المولدة للورم c-erbB2 (المعطيات غير معروضة). وتتعارض هذه النتائج مع ما تميزت به مجموعة من الأضداد الجرذية التي قمنا بتحضيرها مضادة لمستقبلات EGF حيث أدت إلى تثبيط كبير في النمو وما ذكر في تقارير أخرى لباحثين قاموا بتحضير أضداد وحيدة النسيلة فأرية مضادة لمنتجات c-erbB-2 المتجسدة على خلايا 3T3 [22]. ومن المحتمل، كما هو الحال في مستقبل EGF، أن يكون تثبيط ارتباط المرتبط Ligand شرطاً لتثبيط النمو ينتظر عزل مرتبطات من المفترض وجودها (putative ligands) لمستقبلات c-erbB-2 وإظهار هذا التأثير.

يوجد اهتمام سريري بالغ في الدور الذي تلعبه المورثة c-erbB-2 في سرطانات الثدي والمبيض. عقب التقارير المقدمة من مجموعة Slamon والتي أفادت أن تضخم هذه المورثة يمكن أن يرتبط مع سوء الانذار [1, 23]، قام عدد آخر من مجموعة العمل باثبات نسبة الحدوث العالية لتضخم هذه المورثة [24, 2, 3, 25] وفرط تعبير منتجاتها في سرطان الثدي [5, 26, 11, 27, 28, 12, 29]. دلّ عدد من هذه الدراسات أيضاً على وجود علاقة بين تضخم المورثة وسوء الانذار.

إن المستويات المنخفضة لتعبير المورثة c-erbB-2 على أنسجة الإنسان الكهل السوي [30] وارتفاع مستوياتها على بعض أنواع السرطانات الغدية (الأدينوكارسينومات) يقترح أن الوجه الخارجي لنتاج المورثة المولدة للورم هذه يمكن أن يكون مناسباً للاستهداف بالأضداد والمعالجة. إن نتائج الدراسة الحالية باستخدام الضد الجرذي ICR12 تقترح أن هذا الضد يعتبر مرشحاً واعداً للاستخدام السريري. أيضاً، إن احتمال استخدام هذا الضد موسوماً باليود-124 إجراء ملفت للنظر وذلك بسبب الحساسية sensitivity وقوة الفصل resolution العاليتين للتصوير المقطعي ذي الاصدار البوزتروني (PET, positron

بالمقارنة مع طريقة التصوير emission tomography) الومضاني الغامي التقليدية والقدرة كذلك على إجراء عدد كمي quantitation لتوزع النظير المشع في الحي. وبالواقع فإنه باستخدام ^{124}I-ICR12 حصلنا على مسوح scans باستخدام PET بقوة فصل كبيرة لفئران nude mice حاملة لطعوم ورمية بشرية مغايرة، وتم إجراء عدد كمي للقبـــــط النوعي باستخدام السلالة MDA MB 361 [31]. إن التصوير الشعاعي باستخدام ^{99m}Tc ^{124}I الواسمين للضد ICR12 يجري حالياً في مشفى مارسدن الملكية Royal Marsden Hospital في Sutton (المملكة المتحدة) لمريضات مصابات بسرطان ثدي والذي يبدي فرطاً في تعبير نتاج المورثة c-erbB-2 .

REFERENCES المراجع

[1] Slamon. D. J. Clark, G. M., Wong. S. G., levin,W. J., Ullrich; A. and McGuire, W. L. (1987)Human breast cancer: correlation of relapse and survival with amplification of the HER-2*neu* oncogene. *Science*,**235**, 177-182.

[2] Van de Vijver, M. J., Van de Bersselaar, R., Devilee. P., Peterse. J. L. and Nusse, R. (1987) Amplification of the *neu* (*c-erbB-2*) oncogene in human mammary tumours is relatively frequent and often accompanied by amplification of the linked *c-erbA* oncogene. *Mol Cell Biol.*, 7. 2019- 2023.

[3] Venter, D. J. Tuzi, N. L., Kumar. S. and Gullick, W. J. (1987) Overexpression of the *c-erbB-2* onco-protein in human breast carcinomas: immuno-histological assessment correlates with gene amplification. *Lancet*, **ii**, 69-72.

[4] Kraus, M. H., Issing, W., Miki, T., Popescu, N. C. and Aaronson, S. A. (1989) Isolation and characterization of ERBB3, a third member of the ERBB/epidermal growth tactor receptor family: evidence for overexpression in a subset of human mammary tumours. *Proc. Natl Acad Sci. USA*, **86**, 9193-9197.

[5] Cullick, W. J., Berger, M. S. Bennett, P. L. P. Rothbard, J. G. and Waterfield, M. D. (1987)Expression of the *c-erbB-2* protein in normal and transformed cells. *Int. J. Cancer*, **40**, 246 254.

[6] Akiyama, T., Sudo, C., Ogawara, M., Toyoshima, K. and Yamamoto, T. (1986) The product of the *c-erbB-2* gene: a 185-kilodalton glycoprotein with tyrosine kinase activity. *Science*, **232**, 1644-1646

[7] Bargmann, C. I., Hung, M-C. and Weinberg, R. A. (1986) The *neu* oncogene encodes an epidermal-growth-factor-related protein. *Nature* (Lond.), **319**, 226-230.

[8] Schechter, A. L., Stern, D. F., Vaidyanathan, L., *et al.* (1984) The *neu* oncogene; a *c-erbB*-related gene encoding a 185 000-M, tumour antigen *Nature* (Lond.), **312**, 513-516.

[9] Yamamoto, T., Ikawa, S., Akiyama, T. *et al.* (1986) Similarity of the proteins encoded by. the *c-erbB-2* gene to epidermal growth factor receptor. *Nature* (Lond), **319**, 230-234.

[10] Schechter, A. L., Hung, M. C., Vaidyanathan, L. *et al.* (1985) The *neu* gene. an *erbB*-homologous gene distinct from and unlinked to the gene encoding the ECF receptor *Science*, **229** - 976-978.

[11] Gusterson, B. A., Machin, L. G., Gullick, W. J. *et al.* (1988) *c-erbB-2* expression in benign and malignant disease. *Br. J. Cancer*, **58**, 453-457.

[12] Anbazhagan, R., Gelber, R. D., Bettelheim, R., Goldhirsch, A. and Gusterson, B. A. (1991)Association of *c-erbB-2* expression and S-phase fraction in the prognosis of node positive breast cancer. *Ann.Oncol.* 2, 47-53.

[13] Ro, J., El-Naggar, A., Ro, J. Y. *et al.* (1989) *c-erbB-2* amplification in node negative breast cancer: a positive relation with nuclear aplasia and DNA aneuploidy. A possible prognostic factor. *Lab. Invest.*, **60**, 70A.

[14] De potter, C. R., Beghin, C., Makar, A. P., Vandeerckhove, D. and Roels, H. J. (1990) The *neu*- oncogene protein as a predictiv factor for haematogenous metastases in breast cancer patients. *Int. J. Cancer*, **45**, 55,-58.

[15] Rose, M. E., Peppard, J. V. and Hobbs, S. M. (1984) Coccidiosis: characterisation of antibody response to infection with *Eimeria nieschulzi. Parasite Immunol.*, 6, 1-12.

[16] Styles, J. M., Harrison, S., Gusterson, B. A. and Dean, C. J. (1990) Rat monoclonal antibodies to the external domain of the *c-erbB-2* proto-oncogene. *Int. J. Cancer*, **45**, 320-324.

[17] Lindmo, T., Boven, E., Cuttitta, F., Fedorko, J. and Bunn, Jr, P. A. (1984) Determination of the immunoreactive fraction of radiolabelled monoclonal antibodies by linear extrapolation to binding at infinite antigen excess. *J. Immunol. Methods*, 72, 77-89.

[18] Fraker, P. J. and Speck, J. C. (1978) Protein and cell membrane iodinations with a sparingly soluble chloramide1,3,4, 4-tetra chloro-3-6-

diphenylglycouril. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **80**, 849.

[19] Reay, P. (1982) Use of bromosuccinimide for the iodination of proteins for radioimmuncassay. *Ann. Clin. Biochem.*, **19**, 129-133.

[20] Krejcarek, G. E. and Tucker, K. L. (1977) Covalent attachment of chelating groups to macromolecules. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **77**, 581.

[21] Kraus, M. H., Popescu, N. C., Amsbaugh, S. C. and Richter-King, C. (1987) Overexpression of the ECF-receptor-related proto-oncogene in human mammary tumour cell lines by different moleclar mechanisms. *EMBO J.*, **6**, 605-610.

[22] Hudziak, R., Lewis, G., Winget, M., Fendly, B., Shepard, M. and Ullrich, A. (1989) p185^{HER2} monoclonal antibody has antiproliferative effects *in vitro* and sensitises human breast tumour cells to tumour necrosis factor. *Mol. Cell Biol.*, **9**, 1165-1172.

[23] Slamon, D. J., Godolphin, W., Jones, L. A. *et al.* (1989) Studies of the HER-2/*neu* proto-oncogene in human breast and ovarian cancer. *Science,* **244**, 707-712.

[24] Varley, j. M., Swallow, J. E., Brammar, W. J., Whittaker, J. L. and Walker, R. (1987) Alter-ations to either *c-erbB-2* (*neu*) or C-*myc* proto-oncogenes in breast carcinomas correlate with poor short-term prognosis. *Oncogene,* **1**, 423-430.

[25] Zhou, D., Battifora, H., Yokota, J., Yamamoto, T. and Kline, M. J. (1987) Association of multiple copies of the *c-erbB-2* oncogene with spread of breast cancer. *Cancer. Res.,* **47**, 6123-6125.

[26] Gusterson, B. A., Cullick. W. J., Venter, D. J. *et al.* (1987) Immunohistochemical localisation of *c-erbB-2* in human breast carcinomas. *Mol. Cell Probes,* **1**, 383-391.

[27] Berger, M. S., Gottfried, W. L., Saurer, S. *et al.* (1988) Correlation of *c-erbB-2* gene amplification and protein expression in human breast car-cinoma with nodal status and nuclear grading *Cancer Res.*, **48**, 1238-1243.

[28] Paik, S., Hazan, R., Fisher, E. R. *et al.* (1990) Pathologic findings from the national surgical adjuvant breast and bowel project: prognostic significance of *erbB-2* protein overexpression in primary breast cancer. *J. Clin. Oncol.,* **8**, 103-112.

[29] Machin, L., Ashley, S., Dean, C. *et. al.* (1991) Immunohistochemical distribution of *c-erbB-2*-like immunoreactivity in tissues-biological and clinical significance with particular reference to breast cancer. *Diagn. Oncol.*, **1**, 209-217.

[30] Natali, P., Nicotra, M., Venturo, I., Slamon, D., Fendly, B. and Ulrich, A. (1990) Expression of the p185 encoded by HER2 oncogene in normal and transformed human tissues. *Int. J. Cancer,* **45**, 457-41.

[31] Bakir, M. A., Babich, J. W., Styles, J. M., Dean, C. J., Eccles, S. A. and Lambrecht, R. M. (1990) Iodine-124-labelled-ICR12, a new monoclonal antibody for imaging proto-oncogene expression in breast cancer using PET: optimisation of labelling efficiency and immunoreactivity. *J. Nucl. Med.*, **31**, 777.

[32] Dean, C. J., Styles, J. M., Gyure, L. A. *et al.* (1984) The production of hybridomas from the gul associated lymphoid tissue of tumour-bearing rats. I. Mesenteric nodes as a source of IgG-producing cells. *Clin. Exp. Immunol.*, **57**, 358-364.

Key Words / **الكلمات المفتاح**

1- monoclonal antibodies (mAbs) .... أضداد وحيدة النسيلة
2- oncogene .... المورثة مولدة الورم
3- growth factor receptors .... مستقبلات عوامل النمو
4- xenografts .... الطعوم المغايرة
5- immunolocalisation........ التوضع المناعي
6- biodistribution .... التوزع الحيوي

كتب حديثة مختارة

1- ماديات وأساسيات التنضيد بالحزمة الجزيئية
Materials Fundamentals of Molecular Beam Epitaxy★

تأليف: ج. ي. تاسو
عرض وتحليل: ج. ب. هاربيسون★★

إن اكتشاف طريقة التنضيد بالحزمة الجزيئية molecular beam epitaxy (MBE) والتعديلات المتتالية التي طرأت عليها، والتي تبدو لا حصر لها، قد رسَّخت بعض مجالات فيزياء الحالة الصلبة التجريبية الرائعة التي جرت دراستها في العشرين سنة الماضية - بدءاً من آثار هول الكمومية المتكاملة والجزيئية وحتى النظم ذات الأبعاد الأصغر، كالآبار الكمومية والأسلاك الكمومية والنقط الكمومية. إن مقدرة طريقة التنضيد بالحزمة الجزيئية MBE على التحكم بنمو بُنى طبقية من أنصاف النواقل بالمقياس الذرّي قد مكّنت الذين يمارسونها من تشكيل البنى المؤلفة من أفلام رقيقة، تتطلبها تلك التجارب الرائعة بدقة لا مثيل لها. وفي الوقت نفسه، تمخَّض التطور في فيزياء أنصاف النواقل عن عدد من النبائط (الأجهزة) الفريدة المصنوعة من أنصاف النواقل، نذكر منها الترانزستور ذا الإلكترونات عالية الحركية، وليزر البئر الكمومي الأمر الذي بوّأ طريقة التنضيد بالحزمة الجزيئية تقانة إنتاج مهمة في النبائط ذات الأداء العالي.

ومع ذلك فإن عمليات التنمية بواسطة MBE بحدّ ذاتها تبقى غامضة بصورة مذهلة وبعيدة المنال حتى عند أولئك الذين اعتادوا بشكل خصوصي على تفاصيل الفيزياء المثيرة التي كشفت عنها تلك البنى. إن كتاب ماديات وأساسيات في التنضيد بالحزمة الجزيئية الذي كتبه جيفري تساو يزيل عن هذا الحقل المتنامي بسرعة، كثيراً من الغموض الذي أحاط به. يعرض الكاتب بشكل واضح ومستفيض العناصر المميزة للمواد التي تكمن خلف هذه التقانة المثيرة.

ظلت MBE، كطريقة فرعية، معروفة لفترة زمنية طويلة أتاحت إنتاج مجموعة من المواضيع التي تقع خارج نطاق أعمال المؤتمرات المباشرة التي لا تغطي في العادة سوى أحدث التطورات التي تهم الخبراء الذين يعملون في هذا الحقل. إن الكتاب الذي كتبه م. أ. هيرمان M. A. Herman و هـ. سيتر H. Sitter بعنوان التنضيد بالحزمة الجزيئية: الأسس والوضع الراهن (Springer-Verlag, New York, 1989) والكتاب الآخر لِ ي. كاسبر E. Kasper و ج. س. بِين وعنوانه التنضيد بحزمة السيليكون الجزيئية (CRCP., Boca Raton, Fla., 1988) كلاهما يقدمان عرضاً موحداً لهذا الميدان من منظور ممارسيه الأكثر دقة، ويعالج كتاب ي. هـ. باركر E. H. C. Parker وعنوانه: التكنولوجيا وفيزياء التنضيد بالحزمة الجزيئية (Plenum, New York, 1985) بتفصيل أكثر معدات MBE العملية التي باتت تكون جزءاً لا يتجزأ من التقانة. ولكن تساو يحاول أن يتناول بعجالة مسائل التكنولوجيا الخاصة بـ MBE التي يهابها القرّاء ويركز بدلاً من ذلك على المواد العلمية الحقيقية التي تكمل وتعزز نمو التكنولوجيا. وبفعله هذا، يكون تساو قد خاطب جمهوراً واسعاً يفوق بكثير تلك المئات من منمّيي بلورات MBE. والقارىء لم يتزود بنظرة نادرة ومتأملة في عملية نمو MBE فقط، لكنه مدعو هو أو هي ليتعرف على دورة متميزة شاملة في المواضيع المطروحة في علم الحركة والتحريك الحراري (الترموديناميك)، مضافاً إليها شروح متأنية حول زمان ومكان استخدام كل طريقة.

ويتخلل التحريك الحراري (الترموديناميك) أغلبية المواضيع التي يعالجها الكتاب، ويضم الكتاب شرحاً جيداً للأسس التي تحتاجها المعالجات العميقة التي تتبعها. وتتضمن هذه المعالجات استقرار الطور لدى تطبيقه على ترسيب البخار، ومفاهيم التبخير الملائم وغير الملائم، ومعالجة ترمودناميكية لتخشين السطح، وشرحاً مفصلاً بشكل خاص لطريقة تغير التجمعات التي يستفاد منها في معالجة سبائك المجموعتين V-III الثنائية الكاذبة.

★ by Jeffrey Y. Tsao, Academic, San Diego, Calif, 1993.

★★ ج. ب. هاريسون J. P. Harbison - بيلكور - ريدبانك - نيوجيرسي - الولايات المتحدة. - العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, October 1993, P. 125
ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر - ومراجعة لجنة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

وهناك فكرة أخرى تتخلل الكتاب تتعلق بالترابط وتأثير الاجهاد. فقد قدم تساو معالجة مستفيضة جداً لحسابات حقل قوة ـ التكافؤ، وكيف يمكن تطبيقها على الاجهاد، كما أن معالجته للسماكة الحرجة والانخلاعات في تنضيد طبقات مُجْهَدة ينقل الأفكار التقليدية لـ ماثيو Mathews و بليكزلي Blakesley إلى التسعينيات متقدمة بذلك عدة أشواط. إن تحويله فكرة مخطط التشويه التقليدية لـ هارولد فروست H. Frost و مايك أشبي M. Ashby إلى أداة للتنبؤ بحركيات استرخاء الاجهاد كان عملاً في منتهى الروعة.

والكتاب ليس مخصصاً لمطالعة عرضية تسبق وقت النوم. لقد أنجز المؤلف عملاً رائعاً بتلخيصه الأجزاء المادية الأساسية لكل موضوع تمت معالجته، قبل الشروع بمعالجاته الرياضية الشاملة والمفصّلة، بشكل أتاح للقارىء أن يستكشف كل مجال بالعمق الذي يرغب. إن اختتام كل فصل بمجموعة كاملة من المراجع، ومجموعة شاملة من المسائل جعل الكتاب كتاباً مدرسياً مثالياً يصلح للمتخرجين وغير المتخرجين. وسيجد له مكاناً في مكتبتي لسنوات طويلة قادمة.

ـ تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *Physics Today* للسماح لها بترجمة هذا العرض ونشره.

2- تبادل الشحنة ونظرية تصادمات أيون ـ ذرة

Charge Exchange and the Theory of Ion-Atom Collisions★

تأليف: ب. هـ. برنزدن و م. ر. ك. ماكدويل
عرض وتحليل: إ. ج. مانسكي★★

تشمل تصادمات إعادة التنظيم (الترتيب) تحويل أو تبادل جسيمات معتدلة أو مشحونة بين المتفاعلات الأولية والنواتج النهائية في تصادم ما. وتحدث تلك التصادمات في أنواع متباينة من التطبيقات في الفيزياء الذرّية والكيميائية والجزيئية. ومن الأمثلة على تصادمات إعادة التنظيم عند طاقات حرارية نذكر تفاعلات تحويل ذرة هدروجين في الغلاف الجوي العلوي. أما عند الطاقات المتوسطة أو النسبوية فتحدث تصادمات إعادة التنظيم في مجال واسع من تصادمات أيون ـ أيون و أيون ـ ذرة بدءاً من اندماج الحصر الذاتي إلى تصادمات الأيونات الثقيلة.

يتطلب الوصف النظري لتصادم $A + B \rightarrow C + D$، والذي يشتمل إعادة ترتيب إلكترونات (وربما نوى) المتفاعلات الأولية (A وB) في النواتج (C وD)، حل سؤالين أساسيين: الأول هو كيف نميز ونختار الإحداثيات للهاميلتونين H_{AB} وH_{CD} الخاصين بقناتي المتفاعلات والمنتجات على التوالي؟ والثاني هو هل يُستخدم التمثيل الكمومي أم شبه التقليدي للتابع الموجي للمركب المتشكل خلال التصادم. وتتطلب الإجابة عن هذين السؤالين نظرة فيزيائية ثاقبة في الآليات المشاركة في نقل الشحنة بالإضافة إلى دقة تنسجم مع إمكانية التطبيق الحسابية.

وفي السنوات الخمس والعشرين الماضية، أدى التقدم في هندسة الكمبيوتر وتصميم البرمجيات إلى زيادة كبيرة في فهمنا النظري للخواص الكيميائية الكمومية لتشكيلة واسعة من النظم المعزولة والساكنة والمعتدلة والأيونية. كما صرنا نفهم بشكل أفضل المقاطع العرضية التحريكية للإثارة والتأيين وتبادل الشحنة في مثل هذه النظم في الفيزياء الذرّية والجزيئية والكيميائية. بيد أن الحاجة قد ظهرت في أدبيات تبادل الشحنة إلى نظرة شاملة تتناول كل النظريات القائمة الكمومية منها، وشبه التقليدية، والتقليدية وعلاقاتها المتبادلة والمجالات التي تكون فيها قابلة للتطبيق.

لقد كان تلبية لتلك الحاجة إصدار كتاب «تبادل الشحنة وتصادمات أيون ـ ذرّة» للكاتبين ب. هـ. برانزدن و م. ر. ك. ماكدويل في الوقت المناسب. ويُعدَ الكاتبان مرجعين معروفين في نظرية التبعثر الذرّي والجزيئي وقد كانا نشيطين في بحوث تبعثر

★ by B. H. Bransden and M. R. C. McDowell, Clarendon (Oxford U. P.). New York, 1992.

★★ إ. ج. مانسكي E. J. Mansky ـ معهد جورجيا للتكنولوجيا ـ أتلانتا ـ جورجيا. ـ العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, October 1993, P. 124. ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر ـ ومراجعة لجنة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الأجسام الثقيلة والإلكترونات منذ عام 1950 . وكما أشار المؤلفان في المقدمة، يمكن اعتبار الكتاب بديلاً عن كتاب «مدخل إلى نظرية تصادمات أيون ـ ذرَة»، للكاتبين ماكدويل و ج . ب . كولمان J. P. Coleman (نورث هولندا، نيويورك 1970) الذي كانت نسخه نافدة لعدة سنوات . وقد أصبح المؤلَّف الأول، بشرحه الممتاز للتبعثر التقليدي وشبه التقليدي ومعالجته المفصلة للتبعثر الكولوني، كتاباً تقليدياً ممتازاً . إنه من الكتب المميزة في مكتبتي الخاصة . والكتاب الحالي هو خَلَف مناسب للعمل السابق وأثر باقٍ من آثار ماكدويل الذي توفي في 13 / حزيران / 1993 .

إن إحدى نقاط القوة المميزة لكتاب «تبادل الشحنة ونظرية تصادمات ذرَة ـ أيون» هي الشرح الممتاز للأفكار الفيزيائية التي تحرك جمل الإحداثيات المستخدمة في النماذج النظرية لتفاعلات تبادل الشحنة . وهناك نقطة قوية أخرى هي المناقشة المستفيضة لجمل متنوعة من معادلات مقرونة نتجت عن طرق مختلفة تمثل التابع الموجي للجملة . ومن القيّم فيه أيضاً المعالجة المفصلة للشروط الحدَية في التبعثر الكولوني والدور الذي تلعبه الحالات المستمرة (المتصلة) في تفاعلات تبادل الشحنة . وبينما يحزنني حذف الكثير من مادة الكتاب القديم حول التبعثر التقليدي، فإن الفهم الأكثر عمقاً الذي عرضه النهج الموحد لـ برانزدن و ماكدويل هو بالتأكيد إضافة ذات دلالة إلى الأدبيات وستعطي القراء دليلاً ليتبعوه في الإجابة عن السؤالين الأساسيين السابقين .

ولكونه كتاباً يليق بـ «سلسلة دراسات الفيزياء العالمية الذي نشرته مطبعة كلارندون» فإن الكتاب الحالي خالٍ من الأخطاء المطبعية . لكن نظراً لارتفاع ثمن الطبعةً ذات الغلاف السميك فإنني أفضل إخراجه بغلاف عادي ليستعملها الطلاب الخريجون .

وفي الختام، فإن كتاب «تبادل الشحنة ونظرية تصادمات ذرَة ـ أيون» سيكون إضافة قيّمة لمكتبات النظريين المهتمين بتبعثر الجسيمات الثقيلة وتبعثر الإلكترونات في مجال الفيزياء الذرّية والجزيئية .

ـ تشكر إدارة مجلة عالم الذرّة مجلة *Physics Today* للسماح لها بترجمة هذا العرض ونشره .

تذكرة بمحتويات العددين الأخيرين (الحادي والثلاثين والثاني والثلاثين)

باب المقالات

في مجال الفيزياء

1- التبعثر العميق اللامرن: تجارب على البروتون ورصد التدرج _
هـ. كندال _ ترجمة الدكتور أدهم السمان _ العدد 31.............................الصفحة 7

2- الخواص الفيزيائية للنواقل الفائقة ذات الدرجات الحرجة T_C العالية _
ب. باتلوغ _ ترجمة الدكتور محمد قعقع _ العدد 31.............................الصفحة 30

3- مغنطيسية الأفلام المعدنية الرقيقة من مرتبة بضعة مستويات ذرية _
ب. بوفلان _ ك. شابز _ ك. دُباس _ ج. ب. رونارد _ ترجمة الدكتورة سهام طرابيشي _ العدد 31.............الصفحة 41

4- خطوط نبيل: رصدها ضوئياً وتطبيقاتها _
ج. ملتات _ أ. تيافيل وآخرون _ ترجمة الدكتور أدهم السمان _ العدد 32.............الصفحة 7

5- سطوح فرمي وسوائل فرمي والنواقل الفائقة عالية درجة الحرارة _
و. إ. بكيت _ د. ج. سنغ _ هـ. كراكوار _ ر. إ. كوهن _ ترجمة الدكتور فوزي عوض _ العدد 32.............الصفحة 54

في مجال الكيمياء

1- استعراض شامل عن الفلّرين C_{60} _
الدكتور عبد الوهاب علاف _ هـ. و. كروتو _ س _ ب. بالم _ العدد 32.............الصفحة 19

في المجال الجيولوجي

1- الموازنة الإشعاعية للأرض _ ر. كندل _ إ. فوكارت _ ترجمة الدكتور جمال أصفهاني _ العدد 31.............الصفحة 49

باب الأخبار المتفرقة

في العدد الحادي والثلاثين

1- ما مصدر سبين النكليون؟.............................الصفحة 65
2- رقم قياسي جديد في النواقل الفائقة.............................الصفحة 65
3- المغنطيسية الحديدية المضادة في المركب
Fe_2SiO_4 الذي أزال الضغط بلّوريته.............................الصفحة 66
4- أمواج ثقالية من بدء الكون؟.............................الصفحة 66
5- مزايا فناء البروتونات المضادة في عمليات التصوير الطبي.............................الصفحة 67
6- نشر الفوتونات وإعادة تجميعها.............................الصفحة 69
7- مدى بساطة فتل الجزيئات نفسها.............................الصفحة 71
8- مزهرية جزيئية تضاهي أفضل المصائد.............................الصفحة 72
9- هل للحياة بداية بسيطة؟.............................الصفحة 74
10- مشعر حيوي ينبه الدماغ للإشارات المبكرة للمرض.............................الصفحة 76

في العدد الثاني والثلاثين

1- جزيء العام.............................الصفحة 71
2- إلكترون «كرة البوكي» تفضل المخمسات.............................الصفحة 72

3- ضوء أسرع من الضوء؟................................ الصفحة 73
4- البرد عامل أساسي في خسارة الأوزون................................ الصفحة 75
5- الطريق إلى الإنجاز الشاري................................ الصفحة 76
6- تطبيقات الأشعة المؤينة في مجال التجهيزات البيولوجية................................الصفحة 82
7- البلورة العملاقة في قلب الكرة الأرضية................................ الصفحة 83

باب ورقات البحوث (البحوث المبتكرة)

في مجال الكيمياء

1- الإظهار بالتمنيش الكهركيميائي لشظايا الإنشطار في كواشف البولي كربونيت نوع توفاك –
الدكتور إبراهيم عثمان – غسان رجا – محمد الحشري – ر. هـ. آير – العدد 31................................الصفحة 79

2- معالجة النفايات المشعة باستعمال البنتونيت السوري الطبيعي –
الدكتور جمال أبو جاموس – ترجمة الدكتور غدير زيزفون – العدد 31................................الصفحة 87

3- استخدام المنبع النتروني أمريشيوم 241- بيريليوم المحمول في تقدير الكميات الأثر لليورانيوم في بنى مختلفة –
الدكتور إبراهيم عثمان – غسان رجا – محمد الحشري – ر. هـ. آير – العدد 32................................الصفحة 85

4- دراسات طيفية لبروم الثيازيل NSBr – **الدكتور عبد الوهاب علاف –**
ج. ي. ماتي – ر. ج. سفولك – ج. د. واتس – العدد 32................................الصفحة 32

في المجال الزراعي

1- تقصير الساق عند الحصاد يزيد العمر التخزيني للفطر الطازج أكاريكس بايسبورس –
الدكتور سعيد مجلوني – ر. ب. بيلمان – د. ب. تومبسون – ج. ل. ماو – العدد 31................................الصفحة 95

باب التقارير العلمية

في المجال الزراعي

1- قياس الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في خلطة علفية من البيقية والشعير باستخدام ^{15}N –
الدكتور فواز كرد علي – الدكتور نجم الدين شرابي – العدد 31................................الصفحة 103

2- الأثر المحتمل لأشعة غاما في تحسين الإنتاجية والباكورية في صنفين من فول الصويا –
الدكتور محمد يحيى معلا – الدكتور نزار مير علي – العدد 32................................الصفحة 101

باب الكتب الحديثة

في العدد الحادي والثلاثين

1- علم رديء: الحياة القصيرة والأوقات الصعبة للإندماج البارد......... **(تأليف: ك. توبس)**................ الصفحة 108
(A– عرض وتحليل: ب. بوند)
(B– عرض وتحليل ر. م. كروكس)

2- النظرية الكمومية للحركة: تقويم لتفسير «دي بروي – بوم» السببي..**(تأليف: ب. ر. هولاند)**................ الصفحة 111
لميكانيك الكم **(عرض وتحليل: ش. غولدشتاين)**

في العدد الثاني والثلاثين

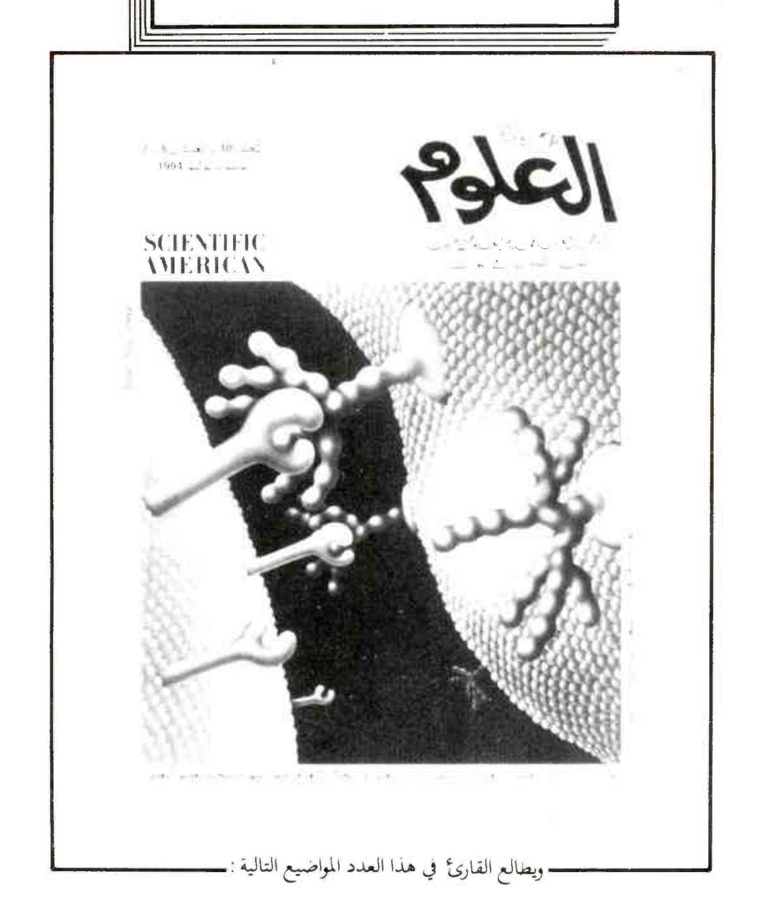
1- التعرّف على أنصاف النواقل................................**(تأليف: م. ي. ليفينشتاين – ج. س. سيمن)**.الصفحة 105
(عرض وتحليل: ج. ورلك)

2- بلورات سائلة................................**(تأليف: س. تشاندرا سيخار)**................الصفحة 105
(عرض وتحليل: روزنبلات)

انتهى الجزء العربي.
يبدأ الجزء الأجنبي من اليسار.

صدر مؤخراً العددان 6 و7 /يونيو ـ يوليو/ 1994 من مجلة العلوم «الترجمة العربية لمجلة العلوم الأمريكية».

وإن هيئة تحرير مجلة عالم الذرة، إذ تعتز بهذه المجلة تتمنى لها استمرار النجاح والتقدم.



ويطالع القارئ في هذا العدد المواضيع التالية :

* الجسور مسبقة الصنع * إزالة الرؤوس الحربية النووية * مناخ الارض يزداد دفئا
* سلوك الذرات والفوتونات في التجاويف الصغيرة يتيح استنباط وسائل تحسس جديدة
* هل تعكس أصوات النسانيس أفكارًا؟ * تحريض الجهاز المناعي على محاربة السرطان
* معدل تمدد الكون وحجمه * كيف ينظم الأنسولين عمل ناقل الغلوكوز؟
* مرجل كوندستروب وانتقال الثقافة من الهند إلى الدانمارك

GROWTH FACTOR RECEPTORS AS TARGETS FOR ANTIBODY THERAPY ⋆

A. BAKIR,
Department of Radio-Biology and Health, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

**C. DEAN, J. STYLES, M. VALERI,
H. MODJTAHEDI, J. W. BABICH,
AND S. ECCLES**
Joint Department of Physics and Section of Immunology, Institute of Cancer Research and The Royal Marsden Hospital,Sutton, Surrey, United Kingdom.

ABSTRACT

We describe here the preparation of the mAbs directed against the c-erbB-2 product expressed by the breast carcinoma cell line BT 474 and the use of one of these mAbs (ICR12) to localise specifically xenografts of tumours that overexpress the c-erbB-2 gp^{185}. The results of the present study with the rat antibody ICR12 suggest that this mAb is a very promissing candidate for clinical use.

Key Words

monoclonal antibodies (mAbs), oneogene, growth factor receptors, xenografts, immunolocation, biodistribution.

⋆ This paper appeared in *Mutant Oncogenes Targets for Therapy*, London 1993.

chains, however. Numerical calculations are reported which estimate the spatial extent of a bipolaron which has been stabilized by interchain coupling.

Key Words
trans-polyacetylene, bipolarons, SSH, interchain coupling.

*This paper appeared in *Polymer*, 1990, Vol 31, April.

A SIMPLE METHOD FOR THE RAPID ASSESSMENT OF THE HALF-LIVES OF SHORT-LIVED RADIONUCLIDES*

T. YASSINE and I. OTHMAN
Department of Radiation Protection & Nuclear Safety,
Syrian Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091 Damascus, Syria.

ABSTRACT

A new method for the assessment of the half lives of short-lived radionuclides is proposed. This method depends on the calculation of half-life using the total counts in two counting periods where the second period includes the first one. The proposed formula for calculation is simple and easy to use especially in the case that the value of the first counting period is equal to half the second.

Key Words
half life, short lived radio nuclides, decay constant, Tc-99m, I-128, Mn-56, Ag-108, Ag-110.

*This paper appeared in *Appl.Radiat Isot.*, vol. 45,No.2, pp.271-273, 1994.

REBORT

DEVELOPMENT OF A VOLUMETRIC ANALYSIS METHOD TO DETERMINE URANIUM IN THE LOADED PHOSPHORIC ACID AND LOADED ORGANIC PHASE (DEHPA-TOPO) *

Y. KOUDSI, H. SHLEWIT
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091 Damascus, Syria.

ABSTRACT

This volumetric method has been developed to determine loaded uranium in both Syrian phosphoric acid and organic solvent (DEHPA/TOPO).

This developed method is successfully used to control the liquid-liquid uranium extraction from the Syrian phosphoric acid process.

This developed method (previously was used to determine the uranium in solid samples only) is based on: Using an excess of Fe^{2+} in concentrated phosphoric acid and sulphamic acid medium, oxidation of Fe^{2+} by nitric acid using sodium molybdate as a catalyst. Excess present of Fe^{2+} will reduce U^{6+} into U^{4+}. Then Fe^{3+} will be reduced into Fe^{2+}in the presence of U^{4+} after diluting solution by disteled water. And finally both U^{4+} and Fe^{2+} will be titrated by potasum dichromate using barium diphenylamin sulphonate as a detector.

Key Words
volumetric titration, DEHPA/TOPO, Syrian phosphoric acid, uranium extraction, liquid-liquid extraction, uranium determination.

*A report on scientific research carried out at the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

commercial apparatus (instruments) have very recently been realised, and designated either to the research, or the industry of thin layers in optics or in microelectronics.

Key Words

reflectivity, X-ray, interface, tunnel effect microscope, structure, liquid crystals, surface tension, layer, surface diffraction.

★This article appeared in *La Recherche* , 244,Vol. 23, Juin 1992. It has been translated into Arabic by Dr. M. Ibrahim, Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

-*AALAM AL- ZARRA* Journal would like to express its deep appreciation and sincere thanks to *La Recherche* Journal for the permission to translate into Arabic and publish this article.

LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL UN BILAN INATTENDU★

J. C. NENOT

Ingénieur agronome et directeur de recherche à l'Institut de protection et de sureté nucléaire (IPSN) à Fontenayaux-Roses. France

R. COULON

est chef de service dans le méme institut.

ABSTRACT

The reactor n°4 of the nuclear centre of Tchernobyl exploded six years ago. During 10 days, an important group of radioactive products from the centre of the reactor was dissipated in the atmosphere forming a radioactive cloud. The tract of this cloud and its fallout on Europe have been the main head in the press for several months. This unprecedented catastrophe formed the main object for many reassuring reports and official speechlessness or catastrophic rumors. Now, six years after the catastrophe, what are the consequences this accident can have on ecology, agriculture and health.? Jean-Claude and Rene Coulon present a clear picture of this accident. If the ecological effects, even near the station, in their way for regression there are some uncertainties, in the medical and health field.

Key Words

Tchernobyl, radionucleotides, radioactivity, radiations, radioactive fallout, ^{137}Cs, ^{131}I, radioactive cloud, catastrophic pathogenes, radio-induced hypothyroid.

★This article appeared ir *La Recherche* 246, Vol. 23, Septembre - It has been translated into Arabic by Dr. M. Osman, Department of Biology Atomic Energy Commission of Syria.

-*AALAM AL- ZARRA* Journal would like to express its deep appreciation and sincere thanks to *La Recherche* Journal for the permission to translate into Arabic and publish this article.

PAPERS

STABILIZATION OF BIPOLARONS IN TRANSPOLYACETYLENE BY INTERCHAIN COUPLING★

M. K. SABRA

Department of Physics,. Atomic Energy Commission of Syria. P. O. Box 6091 Damascus, Syria.

J. A. BLACKMAN

Department of Physics, University of Reading, Whiteknights, Reading RG6 2AF, UK

ABSTRACT

Bipolarons are unstable on single chains of a degenerate polymer dissociating into free solitons and anti-solitons. Stabilization will occur as a result of electronic coupling between π orbitals on neighbouring

Key Words
oestrous cycle, fertility, follicle stimulating hormone (FSH), fusion, radioimmunoassay, immunization, artificial insemination, biotechnology.

★This article appeared in *IAEA-SM-318/16, 1991.* It has been translated into Arabic by Dr.M.Zarkawi, Department of Radiation Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

ARE SUPERCONDUCTORS REALLY SUPERCONDUCTING? ★

David A. Huse
AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey 07974, USA.
Matthew P. A. Fisher
IBM T. J. Watson Research Center, PO Box 218, Yorktown Heights, New York 10598, USA.
Daniel S. Fisher
Physics Department, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, USA

ABSTRACT
The most striking difference between the behaviour of the copper oxide high-temperature superconductors and previous low-temperature type II superconductors is the much more gradual decrease in electrical resistance with temperature in the latter, in the presence of a magnetic field. This raises the question of whether a type II superconductor has strictly zero resistivity, when cooled in a magnetic field. Theoretical and experimental evidence now suggests that as the temperature is lowered, there is a sharp phase transition to a truly superconducting, impurity-dominated phase containing a disordered, frozen arrangement of magnetic flux vortices.

Key Words
coherence length, cooper pairs, long-range order, magnetic penetration length, magnus force, meissner phase, scaling behaviour, spin glass, vortex glass phase, vortex creep.

★This article appeared in *Nature,* Vol. 358, 13 August 1992. It has been translated into Arabic by Dr. A. Harfoush, Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.
AALAM AL- ZARRA Journal would like to express its deep appreciation and sincere thanks to *Nature* Journal for the permission to translate into Arabic and publish this article.

LA REFLECTIVITÉ DES RAYONS X★

J. J. BENATTAR
chercheur au service de physique de l'état condensé, au centre d études de Saclay.

ABSTRACT
The X-rays, a traditional way for studying crystals, are, since few years ago, used to cast a new light on the surfaces and the interfaces. The reflection of X-rays is in reality very sensitive to the structural details and surfaces deformations in scales of some angstroms. The author shows how this method has permitted a certain progress in the comprehension of surfaces of liquids, solids and thin films. That is the basis on which

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

THE ELUSIVE ELECTRON CRYSTAL ★

CHRIS MELLOR

Chris Mellor is a Research Associate in the Physics Department of the University of Nottingham U.K.

ABSTRACT

More than 50 years after it was suggested that electrons could be frozen into a solid, physicists are finding the first evidence that this really happens.

Key Words

electron crystal, Hall effects. Wigner crystal, semiconductors, Heterojunctions.

★This artical appeared in *New Scientist*, 8 August, 1992. It has been translated into Arabic by Dr. I. Khamis, Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

- *AALAM AL-ZARRA* Journal would like to express its deep appreciation and sincere thanks to *New Scientist* Journal for the permission to translate into Arabic and publish this article.

RECENT TECHNIQUES FOR IMPROVING REPRODUCTIVE EFFICIENCY OF LIVESTOCK ★

A.R. PETERS

Hoechst UK Ltd, Walton, Milton Keynes. United Kingdom

ABSTRACT

Radioimmunoassay (RIA) techniques for the measurement of reproductive hormones have been developed over the past two decades. These have contributed enormously to the understanding of reproductive physiology and to the application of fertility programmes in the field. For example, the measurement of progesterone in milk or blood of cows is a widely used technique to monitor ovarian function and to determine fertility parameters, e.g. for pregnancy diagnosis. RIA techniques have also found major application in detailed study of biochemical and physiological mechanisms controlling reproductive processes. For example, the RIA of the gonadotrophin hormones luteinizing hormone (LH) and follicle stimulating hormone (FSH), oestradiol-17β, progesterone, prostaglandins and more recently inhibin has been a basis for understanding the control of ovarian function. The major biological and management constraints to optimal livestock fertility are ovarian and behavioural anoestrus, failure of pregnancy and suboptimal litter size. The physiological background of these problems is briefly reviewed together with techniques being developed to alleviate their effects.

□GROWTH FACTOR RECEPTORS AS TARGETS FOR ANTIBODY THERAPY .... A. BAKIR, C. DEAN-J. STYLES- M. VALERI- M. MODJTAHEDI- J. W. BABICH-S. ECCLES 100

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis).

1- MATERIALS FUNDAMENTALS OF MOLECULAR BEAM EPITAXY .... BY J. Y. TSAO, REVIEWED AND ANALYSED BY J. P. HABBISON 109

2- CHARGE EXCHANGE AND THE THEORY OF ION-ATOM COLLISION .... BY B. H. BRANSDEN, M. R. C. McDOWELL, REVIEWED AND ANALYSED BY E. J. MANSKY 110

TITLES OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THE LAST TWO ISSUES
(The 31th, 32th ones)............ 112

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH............ 120

AALAM AL-ZARRA

CONTENTS

ARTICLES (Translated or written by Arab specialists).

- THE ELUSIVE ELECTRON CRYSTAL .... C. MELLOR 7
- RECENT TECHNIQUES FOR IMPROVING REPRODUCTIVE EFFICIENCY OF LIVESTOCK .... A. R. PETERS 14
- ARE SUPERCONDUCTORS REALLY SUPERCONDUCTING? .... D.A. HUSE-M. P. A. FISHER, D. S. FISHER 26
- LA REFLECTIVITÉ DES RAYONS X .... J. J. BENATTAR 40
- LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL UN BILAN INATTENDU .... J. C. NENOT-R. COULON 53

NEWS (Mainly collected and translated by the Journal's Editorial Board and the Arab Specialists).

1- GOT IT! .... *TIME* ★ 69
2- LASER-EXCITED CONFINED BUCKYBALLS EMIT WHITE LIGHT .... LASER FOCUS WORLD 73
3- HEAT-PROOF PROTEINS .... *NATURE* ★ 74
4- BRINKMANSHIP THREATENS JET .... *NEW SCIENTIST* ★ 75
5- FUSION HOPES HANG ON REFURBISHED JET .... *NEW SCIENTIST* ★ 77
6- TITANIA'S FAIRY LIGHTS .... THE ECONOMIST 79
7- DE L'HYDROGÈNE NOIR? .... *LA RECHERCHE* ★ 80
8- WHY HOT SHEEP NEED SOFT DRINKS .... *NEW SCIENTIST* ★ 80
9- PESTICIDES LINKED TO BREAST CANCER .... *NEW SCIENTIST* ★ 82
10- LOW DOSE SEEN TO HELP HUMAN CELL REPAIR SYSTEM .... *NUCLEAR NEWS* ★ 83

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff).

- STABILIZATION OF BIPOLARONS IN TRANSPOLY-ACETYLENE BY INTERCHAIN COUPLING .... M. K. SABRA, J. A. BLACKMAN 87
- A SIMPLE METHOD FOR THE RAPID ASSESSMENT OF THE HALF-LIVES OF SHORT-LIVED RADIONUCLIDES .... T. YASSINE-I. OTHMAN 91

PEPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff).

- DEVELOPMENT OF A BOLOMETRIC ANALYSIS METHOD TO DETERMINE URANIUM IN THE LOADED PHOSPHORIC ACID AND LOADED ORGANIC PHASE (DEHPA-TOPO) .... Y. KOUDSI-H. SHLEWIT 99

★*AALAM AL-ZARRA* Journal would like to express its deep appreciation and sincere thanks to this journal for the permission to translate into Arabic and publish this piece of news.

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, renewals of subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:

Damascus , P.O. Box 6091 Phone 6668114/5, Cable, TAKA, Telex: ATENCO 411420, Fax : 6620317

Subscription rates, including first class postage charges:

a) Individuals	$ 30 for one year
b) Establishments	$ 60 for one year
c) For one issue	$ 6

It is preferable to transfer the requested amount to: The Commercial Bank of Syria N°.13
P.O. Box 16005 Damascus-Syria
account N°.3012/2

Cheques may also be sent directly to the journal's address.

AALAM AL-ZARRA

A Journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of Nuclear and Atomic Sciences and of the different Applications of Atomic Energy.

N°33 9th Year SEPTEMBER/OCTOBER 1994

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرية

Internal & External Publications of the AEC of SYRIA

منشورات داخلية (غير معدة للبيع)	الشكل
أ: - النشرة الصحفية اليومية وتتضمن أقوال الصحف والمجلات حول الطاقة الذرية. (إعداد دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	صفحة أو صفحتان
ب: سلسلة الوقاية والأمان: 1- معايير الأمان الأساسية للوقاية الإشعاعية في الجمهورية العربية السورية. 2- قواعد الفحص والإشراف الطبيين للمتعرضين للإشعاع. 3- تعليمات حول تحضير المواد الصيدلانية المشعة لأغراض التشخيص والمعالجة في المشافي. 4- قواعد التخلص الآمن من النفايات المشعة. 5- قواعد الاستخدام الآمن لأجهزة التصوير الإشعاعي الصناعي. 6- قواعد وشروط إجراءات ترخيص العمل الإشعاعي. (إعداد قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي)	كتاب مطبوع على الآلة الكاتبة كُتيب مطبوع كُتيب مطبوع كُتيب مطبوع كُتيب مطبوع كُتيب مطبوع
جـ: نشرات صغيرة: 1- نشرة إعلامية حول الوقاية من الإشعاع. 2- المسؤوليات الأساسية التي تقع على إدارة المنجم أو المطحنة. 3- المسؤوليات الملقاة على عاتق العاملين في المنجم. 4- الرادون والخطوات الواجب اتباعها للمحافظة على صحة أفراد العائلة. 5- منشأة التعقيم بالإشعاع (رادستير). (إعداد قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي)	عدة صفحات صغيرة مطبوعة عدة صفحات صغيرة مطبوعة عدة صفحات صغيرة مطبوعة عدة صفحات صغيرة مطبوعة عدة صفحات صغيرة مطبوعة
د: 1- هيئة الطاقة الذرية في عشر أعوام 1980-1990. 2- لمحة تاريخية عن المراحل الأولى من عمر هيئة الطاقة الذرية في الجمهورية العربية السورية. (إعداد إدارة هيئة الطاقة الذرية)	كُتيب مطبوع كُتيب مطبوع
هـ: - أينيس: النظام الدولي للمعلومات النووية. (ترجمة المهندسة تغريد عطية)	كتاب مطبوع

AALAM AL.ZARRA

(THE WORLD OF THE ATOM)

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA



N°33 9th Year SEPTEMBER/OCTOBER 1994

33